

СПРАВОЧНИК
МОЛОДОГО ЭЛЕКТРИКА ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИМ МАТЕРИАЛАМ И ИЗДЕЛИЯМ

Н. В. НИКУЛИН

СПРАВОЧНИК МОЛОДОГО ЭЛЕКТРИКА ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИМ МАТЕРИАЛАМ И ИЗДЕЛИЯМ

Изд. 3-е, переработанное
и дополненное



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ВЫСШАЯ ШКОЛА»
МОСКВА — 1973

6П2.1.06(075)

Никулин Н. В.

Н65 Справочник молодого электрика по электротехническим материалам и изделиям. Изд. 3-е, перераб. и доп. М., «Высш. школа», 1973.

288 с. с илл.

Справочник содержит основные сведения о свойствах электротехнических материалов: электроизоляционных, магнитных, проводниковых и полупроводниковых, а также припоев и клеев.

В третье издание справочника внесены поправки и уточнения характеристик и свойств электротехнических материалов и изделий.

Справочник предназначен для молодых рабочих и мастеров, занятых в электротехнической промышленности и на монтажах. Он может быть полезен конструкторам, технологам и студентам при выборе электротехнических материалов, необходимых при проектировании и ремонте электрических машин, аппаратов и другого электрооборудования.

6П2.1.06(075)

Справочник одобрен Ученым советом Государственного комитета Совета Министров СССР по профессионально-техническому образованию в качестве пособия для профессионально-технических учебных заведений и подготовки рабочих на производстве.

Со всеми замечаниями и предложениями просим обращаться по адресу: *Москва, К-51, Неглинная ул., 29/14, издательство «Высшая школа».*

$Н\frac{03310-014}{001(01)-73}44-73$

Николай Васильевич Никулин

СПРАВОЧНИК МОЛОДОГО ЭЛЕКТРИКА ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИМ МАТЕРИАЛАМ И ИЗДЕЛИЯМ.

Редактор М. Сорокина. Художественный редактор Т. В. Панина.
Технический редактор З. А. Муслимова. Корректор Г. А. Чечеткина

Т-11763 Сдано в набор 26/I 1972 г. Подп. к печати 10/VIII 1972 г.
Формат 84×108[1]/[32] Объем 9 печ. л. Усл. п. л. 15,12. Уч.-изд. л. 16,25.
Изд. № ЭГ-155. Тираж 40 000 экз. Цена 68 коп.

План выпуска литературы издательства
«Высшая школа» (профтехобразование) на 1973 г. Позиция № 44.
Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14,
Издательство «Высшая школа»

Типография изд-ва «Уральский рабочий», г. Свердловск, проспект Ленина, 49.
Заказ 48.

ВВЕДЕНИЕ

Электротехнические материалы представляют собой совокупность электроизоляционных, проводниковых, магнитных и полупроводниковых материалов, предназначенных для работы в электрических и магнитных полях. Сюда же относятся основные электротехнические изделия: изоляторы, конденсаторы, провода и некоторые полупроводниковые элементы (выпрямители).

Электротехнические материалы занимают одно из главных мест в современной электротехнике. Известно, что надежность работы электрических машин, аппаратов и электрических установок в основном зависит от качества и правильного выбора соответствующих электротехнических материалов. Анализ аварий электрических машин и аппаратов показывает, что большинство из них происходит вследствие выхода из строя электрической изоляции, состоящей из электроизоляционных материалов.

Не менее важное значение для электротехники имеют магнитные материалы. Потери энергии и габариты электрических машин и трансформаторов определяются свойствами магнитных материалов.

Значительное место в электротехнике занимают полупроводниковые материалы (полупроводники). В результате разработки и изучения свойств полупроводников был создан ряд новых приборов (выпрямители, усилители), позволивших успешно решить сложные вопросы современной электротехники. При рациональном выборе электроизоляционных, магнитных и других электротехнических материалов можно создать надежное в эксплуатации электрооборудование при малых габаритах и весе. Но для реализации этих качеств необходимы знания свойств весьма разнообразных современных электротехнических материалов.

Предлагаемая читателю книга является кратким и популярным справочником по электротехническим материалам и изделиям (изоляторы, конденсаторы, обмоточные и установочные провода, кабели и некоторые полупроводниковые изделия). Особенностью справочника является то, что в начале каждого раздела, посвященного данной группе материалов, приводится краткий текст, поясняющий свойства и основные области применения этой группы материалов или изделий. Затем в таблицах приводятся числовые значения электрических, механических, магнитных и других характеристик материалов. Наименьшие числовые значения характеристик взяты из ГОСТов и ТУ на соответствующие материалы. Наибольшие числовые значения в таблицах представляют собой средние величины характеристик, полученные в результате испытаний соответствующих материалов.

ГЛАВА I

ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

§ 1. Классификация электроизоляционных материалов

Электроизоляционными материалами (диэлектриками) называют такие материалы, с помощью которых осуществляют изоляцию, т. е. препятствуют утечке электрического тока между какими-либо токопроводящими частями, находящимися под разными электрическими потенциалами. Диэлектрики обладают очень большим электрическим сопротивлением. Так, удельное объемное сопротивление диэлектриков $\varrho_v = 10^{10}—10^{20}$ *ом·см*, а у проводников оно составляет лишь $10^{-6} — 10^{-4}$ *ом·см*.

По химическому составу диэлектрики делят на органические и неорганические. Основным элементом в молекулах всех органических диэлектриков является углерод. В неорганических диэлектриках углерод не содержится. Наибольшей нагревостойкостью обладают неорганические диэлектрики (слюда, керамика и др.).

По способу получения различают естественные (природные) и синтетические диэлектрики. Синтетические диэлектрики могут быть созданы с заданным комплексом электрических и физико-химических свойств, поэтому они широко применяются в электротехнике.

По строению молекул диэлектрики делят на неполярные (нейтральные) и полярные.

Нейтральные диэлектрики состоят из электрически нейтральных атомов и молекул, которые до воздействия на них электрического поля не обладают электрическими свойствами. Нейтральными диэлектриками являются: полиэтилен, фторопласт-4 и др.

Среди нейтральных выделяют ионные кристаллические диэлектрики (слюда, кварц и др.), в которых каждая пара ионов составляет электрически нейтральную частицу. Ионы располагаются в узлах кристаллической решетки. Каждый ион находится в колебательном тепловом движении около центра равновесия — узла кристаллической решетки.

Полярные (дипольные) диэлектрики состоят из полярных молекул-диполей. Последние вследствие асимметрии своего строения обладают начальным электрическим моментом еще до воздействия на них сил электрического поля.

Полярными диэлектриками являются: бакелит, поливинилхлорид и др.

По сравнению с нейтральными диэлектриками полярные имеют повышенные значения диэлектрической проницаемости, а также несколько повышенную проводимость.

По агрегатному состоянию диэлектрики делят на газообразные, жидкие и твердые. Особенно обширной является группа твердых диэлектриков.

§ 2. Электрические характеристики электроизоляционных материалов

Электрические свойства электроизоляционных материалов оценивают с помощью величин, называемых электрическими характеристиками [1].

К ним относятся: удельное объемное сопротивление ϱ_v, удельное поверхностное сопротивление ϱ_s, диэлектрическая проницаемость ε,

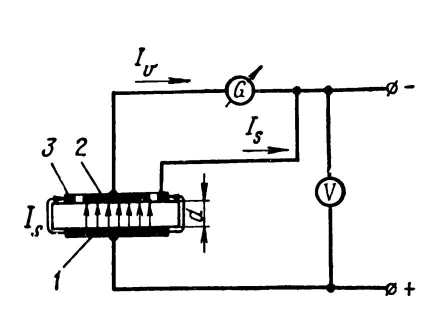


Рис. 1. Принципиальная схема установки для измерения удельного объемного сопротивления диэлектрика:

G - гальванометр, *V* — вольтметр, I_s — ток поверхностной проводимости; I_v — ток объемной проводимости; *1* — нижний электрод, *2* — центральный электрод, *3* — кольцевой электрод

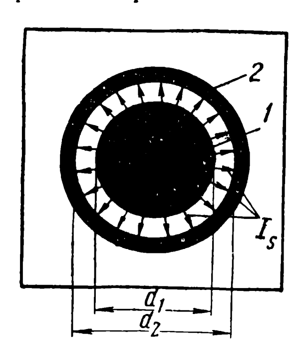


Рис. 2. Концентрическое расположение электродов на образце диэлектрика при измерении удельного поверхностного сопротивления

температурный коэффициент диэлектрической проницаемости ТКε, тангенс угла диэлектрических потерь $\mathrm{tg}\,\delta$ и электрическая прочность материала $E_{пр}$.

Удельное объемное сопротивление ϱ_v — величина, позволяющая оценить электрическое сопротивление материала при протекании через него постоянного тока. Эта характеристика вычисляется по формуле

$$\varrho_v = R_v \frac{S}{h} \ \text{ом} \cdot \text{м (омометр)}, \qquad (1)$$

где R_v — общее сопротивление образца материала толщиной h и при площади S $м^2$ меньшего электрода *2* на образце диэлектрика (рис. 1). На практике чаще пользуются дольной единицей от омометра: омосантиметром (*ом · см*).

$$1\ ом \cdot м = 100\ ом \cdot см; \quad 1\ ом \cdot см = 0{,}01\ ом \cdot м.$$

Величина, обратная удельному объемному сопротивлению, называется **удельной объемной проводимостью**

$$\gamma_v = \frac{1}{\varrho_v}\ ом^{-1} \cdot см^{-1}.$$

[1] Способы измерения электрических характеристик диэлектриков изложены в книге: Д. М. Казарновский, Б. М. Тареев «Испытания электроизоляционных материалов», «Энергия», 1969 г.

Удельное поверхностное сопротивление ϱ_s — величина, позволяющая оценить электрическое сопротивление материала при протекании постоянного тока по его поверхности между электродами *1* и *2* (рис. 2). Для определения величины удельного поверхностного

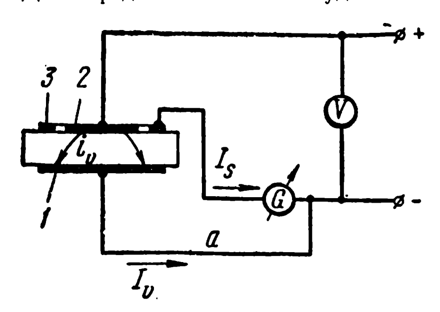


Рис. 3. Принципиальная схема установки для измерения удельного поверхностного сопротивления диэлектрика:

1, 2, 3 — электроды, I_s — ток поверхностной проводимости, I_v — ток объемной проводимости

сопротивления пользуются образцами диэлектрика, у которых определялось удельное объемное сопротивление.

Для определения удельного поверхностного сопротивления образец диэлектрика включается в измерительную цепь согласно рис. 3. В этом случае удельное поверхностное сопротивление вычисляют по формуле [1]

$$\varrho_s = R_s \frac{\pi (d_2 + d_1)}{(d_2 - d_1)} \text{ ом}, \qquad (2)$$

где R_s — общее сопротивление поверхности образца, заключенной между электродами *1* и *2* (см. рис. 2);

d_1 — диаметр центрального электрода *1*;

d_2 — внутренний диаметр кольцевого электрода *2*;

$\pi \approx 3{,}14$.

Величина, обратная удельному поверхностному сопротивлению, называется **удельной поверхностной проводимостью**

$$\gamma_s = \frac{1}{\varrho_s} \text{ ом}^{-1}.$$

Температурный коэффициент удельного электрического сопротивления ТКϱ (α) — величина, определяющая изменение удельного со-

---

[1] Формула (2) дает приближенный результат. Более точное вычисление ϱ_s производят по формуле

$$\varrho_s = R_s \frac{2\pi}{\ln \frac{d_2}{d_1}} \text{ ом}.$$

противления ϱ материала с изменением его температуры. При линейном изменении удельного сопротивления (в узком интервале температур) среднюю величину температурного коэффициента удельного сопротивления вычисляют по формуле

$$\text{ТК}\varrho = \frac{\varrho_{t_2} - \varrho_{t_1}}{\varrho_{t_1}(t_2 - t_1)} \ 1/\textit{град}, \qquad (3)$$

где ϱ_{t_1} — удельное сопротивление материала при начальной температуре t_1,

ϱ_{t_2} — удельное сопротивление материала при изменяющейся температуре t_2.

С повышением температуры у всех диэлектриков электрическое сопротивление уменьшается, следовательно, их температурный коэффициент удельного сопротивления имеет отрицательный знак, т. е. $\text{ТК}\varrho < 0$.

Диэлектрическая проницаемость (относительная диэлектрическая проницаемость) ε — величина, позволяющая оценить способность материала создавать электрическую емкость.

Относительная диэлектрическая проницаемость ε входит в величину абсолютной диэлектрической проницаемости

$$\varepsilon_a = \varepsilon_0 \varepsilon \ \textit{ф/м}, \qquad (4)$$

где ε_0 — электрическая постоянная

$$\varepsilon_0 = 8{,}85416 \cdot 10^{-12} \ \textit{ф/м}.$$

Известно, что электрическая емкость плоского конденсатора

$$C = \frac{\varepsilon_a S}{h} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{h} \ \textit{ф}, \qquad (5)$$

где S — площадь меньшего электрода, *см*^{2},
h — толщина диэлектрика, *см*.

$$\varepsilon_0 = 8{,}85416 \cdot 10^{-14} \ \textit{ф/см}.$$

Определение ε сводится к измерению емкости C_x образца данного диэлектрика и к вычислению величины диэлектрической проницаемости по формуле

$$\varepsilon = C_x \frac{h}{\varepsilon_0 S} = C_x \frac{10^{14} h}{8{,}85416 S}. \qquad (6)$$

Обычно в измерительных устройствах искомую емкость C_x вычисляют в пикофарадах (*пф*): 1 *пф* $= 10^{-12}$ *ф*, тогда

$$\varepsilon = C_x \frac{10^{-12} h}{\varepsilon_0 S} = C_x \frac{h}{0{,}0885416 S} \approx C_x \frac{h}{0{,}0886 S}. \qquad (7)$$

У всех диэлектриков диэлектрическая проницаемость ε изменяется с изменением температуры и частоты приложенного к диэлектрику напряжения.

Зависимости ε от температуры и частоты приложенного напряжения представлены на рис. 4 и 5.

Температурный коэффициент диэлектрической проницаемости ТКε — величина, позволяющая оценить характер изменения диэлек-

трической проницаемости ε, а следовательно, и емкости изоляции с изменением температуры.

При линейном изменении ε в зависимости от температуры (рис. 6) температурный коэффициент диэлектрической проницаемости материала определяется по формуле

$$\text{ТК}\varepsilon = \frac{1}{\varepsilon_1} \cdot \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{t_2 - t_1}\ 1/\mathit{град}, \tag{8}$$

где ε_1 — диэлектрическая проницаемость материала при начальной температуре t_1;

ε_2 — диэлектрическая проницаемость материала при изменяющейся температуре t_2.

Если значение ТКε положительное (ТКε > 0), то с повышением температуры диэлектрическая проницаемость ε электроизоляционного материала возрастает, а при ТКε < 0 — уменьшается.

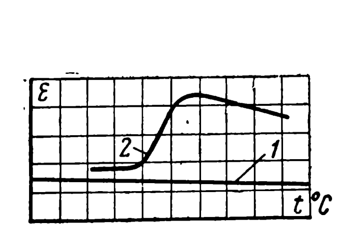


Рис. 4. Зависимость диэлектрической проницаемости от температуры:

1 — нейтральный диэлектрик, *2* — полярный диэлектрик

Рис. 5. Зависимость диэлектрической проницаемости от частоты приложенного напряжения к диэлектрику:

1 — нейтральный диэлектрик, *2* — полярный диэлектрик

Тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$ — величина, позволяющая определить потери мощности (диэлектрические потери в ваттах) в диэлектрике, работающем под переменным напряжением. Диэлектрические потери в диэлектриках (электрической изоляции) вычисляют по формуле

$$P = U^2 2\pi f C \operatorname{tg}\delta\ \mathit{вт}, \tag{9}$$

где U — величина приложенного напряжения, *в*;

f — частота, *гц*;

C — емкость, *ф*;

$\operatorname{tg}\delta$ — тангенс угла диэлектрических потерь ($\operatorname{tg}\delta$ непосредственно измеряют с помощью измерительных устройств на переменном напряжении).

Зависимости $\operatorname{tg}\delta$ от температуры и частоты приложенного напряжения представлены на рис. 7 и 8.

Электрическая прочность $E_{пр}$ — величина, позволяющая оценить способность диэлектрика противостоять разрушению его электрическим напряжением. Электрическую прочность определяют на образцах электроизоляционного материала в однородном[1] электрическом

[1] Однородным называется такое электрическое поле, во всех точках которого напряженности E одинаковы.

поле. Для этого выбирают соответствующую форму электродов (сплошные металлические цилиндры с закругленными краями)

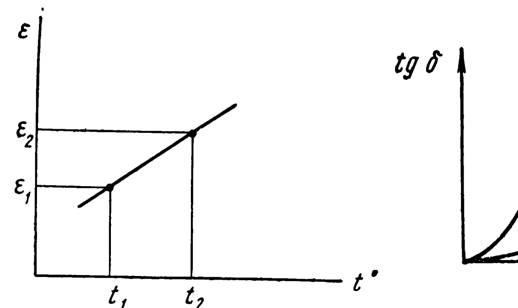


Рис. 6. Линейная зависимость ε от температуры диэлектрика (ТКε>0)

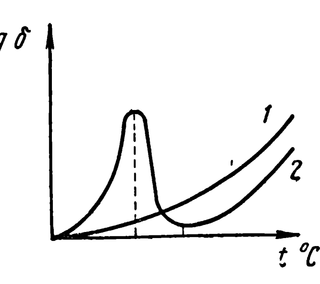


Рис. 7. Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от температуры диэлектрика:

1 — нейтральный диэлектрик, *2* — полярный диэлектрик

и образцов. Электрическую прочность диэлектрика в однородном поле вычисляют по формуле[1]

$$E_{пр}=\frac{U_{пр}}{h}\ в/мм, \qquad (10)$$

где $U_{пр}$ — величина приложенного к диэлектрику напряжения, при котором произошел пробой, *в*;

h — толщина материала в месте пробоя, *мм*.

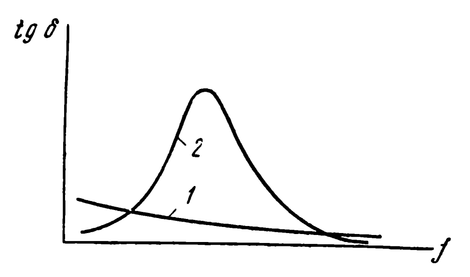


Рис. 8. Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от частоты напряжения, приложенного к диэлектрику:

1 — нейтральный диэлектрик, *2* — полярный диэлектрик

---

[1] У диэлектриков $E_{пр}$ вычисляют в киловольтах на миллиметр (*кв/мм*); 1 *кв* = 1000 *в*.

Значения $E_{пр}$, измеренные на образцах толщиной 1—2 *мм*, всегда выше значений $E_{пр}$, измеренных на образцах того же материала большей толщины, так как с увеличением толщины сказывается влияние неоднородности электрического поля и уменьшается отвод тепла.

§ 3. Механические характеристики диэлектриков[1]

Механическая прочность электроизоляционных и других материалов оценивается с помощью следующих механических характеристик. Последние вычисляют при испытании образцов определенных размеров и формы.

Предел прочности материала при растяжении $\sigma_р$ вычисляют по формуле

$$\sigma_р = \frac{P_р}{S_0} \; кГ/см^2, \tag{11}$$

где $P_р$ — разрушающее усилие при растяжении (разрыве) образца материала, *кГ;*

S_0 — площадь поперечного сечения образца материала до испытания, *см*^{2}.

Относительное удлинение при растяжении $e_р$ вычисляют по формуле

$$e_р = \frac{\Delta l_р}{l_0} \, 100\%, \tag{12}$$

где $\Delta l_р$ — абсолютная величина удлинения образца материала в момент разрыва, *мм*;

l_0 — длина образца материала до испытания (до разрыва), *мм*.

Предел прочности материала при сжатии $\sigma_с$ вычисляют по формуле

$$\sigma_с = \frac{P_с}{S_0} \; кГ/см^2, \tag{13}$$

где $P_с$ — разрушающее усилие при сжатии образца материала, *кГ*;

S_0 — площадь поперечного сечения образца материала до испытания, *см*^{2}.

Предел прочности материала при статическом изгибе $\sigma_и$ вычисляют по формуле

$$\sigma_и = 1{,}5 \, \frac{P_и L}{bh^2} \; кГ/см^2, \tag{14}$$

где $P_и$ — разрушающее усилие, приложенное посредине образца (брус) при изгибе, *кГ*;

L — расстояние между опорами, на которых располагается образец (брус) в испытательной машине, *см*;

b — ширина образца, *см*;

h — толщина образца, *см*.

---

[1] В системе единиц СИ $\sigma_р$, $\sigma_с$ и $\sigma_и$ измеряются в $\frac{ньютон}{кв.\ метр}$ $\left[\frac{н}{м^2}\right]$; $1\frac{кГ}{см^2} = 9{,}81 \cdot 10^4 \; н/м^2$.

Удельная ударная вязкость a (предел прочности образца при динамическом изгибе) вычисляется по формуле

$$a=\frac{P_{\text{уд}}}{S_0}\ \frac{кГ\cdot см}{см^2}, \tag{15}$$

где $P_{\text{уд}}$ — работа, затраченная на разрушение образца материала при ударном изгибе, $кГ\cdot см$;

S_0 — площадь поперечного сечения образца материала до его испытания, $см^2$.

Сопротивление раскалыванию, определяемое у слоистых пластмасс (гетинакс, текстолит и др.), представляет собой усилие, приложенное к стальному клину с углом 60° при вершине, который входит в образец слоистого материала вдоль его слоев. Размер образцов 15×15 *мм*^{2} и толщина 10 *мм*. Сопротивление раскалыванию характеризует прочность склейки слоев слоистых пластмасс.

§ 4. Физико-химические характеристики диэлектриков

Кислотное число есть количество миллиграммов (*мг*) едкого кали (KOH), необходимое для нейтрализации свободных кислот, содержащихся в 1 *г* диэлектрика. Кислотное число определяется у жидких диэлектриков, компаундов и лаков. Кислотное число позволяет оценить количество свободных кислот в диэлектрике, а значит, степень их воздействия на органические материалы. Наличие свободных кислот ухудшает электроизоляционные свойства диэлектриков.

Вязкость (коэффициент внутреннего трения) η позволяет оценить текучесть электроизоляционных жидкостей (масел, лаков и др.). Различают кинематическую и условную вязкость.

Кинематическую вязкость измеряют с помощью капиллярных вискозиметров (стеклянные U-образные трубки) в стоксах (*ст*). Обычно пользуются сотыми долями стокса сантистоксами (*сст*).

Условную вязкость определяют с помощью вискозиметра ВУ и в этом случае вязкость измеряют в градусах Энглера (E°). Часто пользуются простым прибором — специальной воронкой емкостью 100 *мл* (вискозиметр ВЗ-4), которую заполняют исследуемой жидкостью. За вязкость принимают время истечения (в секундах) жидкости из вискозиметра ВЗ-4. Перевод условной вязкости (в градусах Энглера, E°) в кинематическую ν производят по формуле [1]

$$\nu=\left(0{,}0731E^\circ-\frac{0{,}0631}{E^\circ}\right)\ ст. \tag{16}$$

Водопоглощаемость X — это количество воды (*мг* или %), поглощенной образцом диэлектрика определенной формы [2], после пребывания его в дистиллированной воде в течение 24 *ч* при температуре 20° С или выше.

Водопоглощаемость вычисляют по формулам

$$X=G_1-G_2\ мг \tag{17}$$

---

[1] Формула (16) пригодна для приближенных вычислений.

[2] Образцы пластмасс представляют собой диски диаметром 50 *мм* и толщиной 3 *мм*.

или

$$X = \frac{G_1 - G_2}{G_2} \, 100\%, \qquad (18)$$

где G_1 — вес образца после пребывания в воде, *мг*;

G_2 — вес высушенного образца до погружения его в воду, *мг*.

Величина водопоглощаемости указывает на пористость материала и наличие в нем водорастворимых веществ. С увеличением водопоглощаемости электроизоляционные свойства диэлектриков ухудшаются.

Иногда вычисляют водопоглощаемость по формуле

$$X = \frac{G_1 - G_2}{F} \ г/дм^2, \qquad (19)$$

где F — поверхность образца, *дм*^{2}.

§ 5. Тепловые характеристики диэлектриков

Температура плавления определяется у диэлектриков кристаллического строения (слюда, парафин и др.) различными методами.

Температура размягчения определяется у диэлектриков аморфного строения (смолы, битумы) разными способами, которые дают несколько отличные значения этой характеристики для одного и того же материала. Наиболее распространенными являются способы: «кольца и шара» и Кремер — Сарнова.

Температура каплепадения — температура, по достижении которой из отверстия диаметром 3 *мм* в дне чашечки прибора (Уббелоде) отделяется и падает первая капля исследуемого материала при его нагревании.

Температура вспышки паров электроизоляционных жидкостей определяется с помощью приборов ПВНО или ПВНЭ. В этих приборах в закрытом латунном сосуде емкостью 100 *мл* испытуемая жидкость нагревается со скоростью 5 *град/мин* [1], затем скорость нагрева понижается до 2 *град/мин*. Отмечают температуру, при которой смесь паров жидкости с воздухом вспыхивает от внесенного пламени горелки.

Теплостойкость пластмасс определяется с помощью аппарата Мартенса. Для этого используются образцы (бруски) размером $10 \times 15 \times 120$ *мм*, которые устанавливаются в аппарате в вертикальном положении. На каждый образец действует постоянный изгибающий момент, создающий в опасном сечении образца материала напряжение 50 *кГ/см*^{2}.

За теплостойкость принимают температуру, при которой образцы начинают претерпевать опасную деформацию, что в аппарате Мартенса отмечается специальным указателем, опускающимся на 6 *мм*.

Теплостойкость однородных высокополимерных диэлектриков определяется по методу Вика. За теплостойкость принимают температуру, при которой стальной стержень диаметром 1,13 *мм* под действием груза в 1 *кг* проникает в испытуемый образец на глубину 1 *мм*.

Термоэластичность (теплостойкость) лаков определяется на образцах, представляющих собой отрезки медных лент длиной 150 *мм*, шириной 15 *мм* при толщине 0,1 *мм*, которые покрывают испытуемым лаком. Толщина высохшей лаковой пленки на медной полоске должна составлять 0,045—0,055 *мм*. Полоски помещаются в камеру с по-

---

[1] Градусы Цельсия.

стоянной температурой 105, 130, 180° С и выше. За теплостойкость принимается промежуток времени (час), через который лаковая пленка дает трещины, различимые с помощью лупы (с пятикратным увеличением), при изгибании медной лакированной полоски вокруг стального стержня диаметром 3 *мм*.

Нагревостойкость — способность диэлектрика длительно выдерживать заданную рабочую температуру и выполнять свои функции в течение времени нормальной эксплуатации оборудования, в котором используется данный диэлектрик.

Согласно ГОСТ 8865—70 все электроизоляционные материалы, применяемые в электрических машинах и аппаратах, разделяются по их нагревостойкости на классы, перечисленные в табл. 1.

Морозостойкость — способность электроизоляционных материалов противостоять низким температурам.

У твердых диэлектриков (высокополимерные материалы, пластмассы, компаунды и др.) за морозостойкость принимается отрицательная температура, при которой после установленного времени выдержки на образцах материала появляются признаки их механического разрушения (трещины и др.).

Таблица 1

Классы нагревостойкости электроизоляционных материалов (по ГОСТ 8865—70)

Класс нагревостойкости	Температура, характеризующая нагревостойкость материалов данного класса, °С	Характеристика основных групп электроизоляционных материалов, соответствующих данному классу нагревостойкости
У	90	Не пропитанные и не погруженные в жидкий электроизоляционный материал волокнистые материалы из целлюлозы, хлопка и шелка, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие простые сочетания материалов
А	105	Пропитанные или погруженные в жидкий электроизоляционный материал волокнистые материалы из целлюлозы, хлопка или натурального, искусственного или синтетического шелка, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие простые сочетания материалов
Е	120	Синтетические органические материалы (волокна, смолы, компаунды, пленки), а также соответствующие данному классу материалы и другие сочетания материалов, для которых установлена возможность их работы при температуре, соответствующей данному классу
В	130	Материалы на основе слюды (в том числе на органических подложках), асбеста и стекловолокна, применяемые с органическими связующими и

Таблица 1 (продолжение)

Класс нагревостойкости	Температура, характеризующая нагревостойкость материалов данного класса, °C	Характеристика основных групп электроизоляционных материалов, соответствующих данному классу нагревостойкости
		пропитывающими составами, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие простые сочетания материалов
F	155	Материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые в сочетании с синтетическими связующими и пропитывающими составами, а также соответствующие данному классу другие простые сочетания материалов
H	180	Материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые в сочетании с кремнийорганическими связующими и пропитывающими составами, кремнийорганические эластомеры, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие простые сочетания материалов
C	Более 180	Слюда, керамические материалы, стекло, кварц или их комбинации, применяемые без связующих составов или с неорганическими или элементорганическими связующими составами, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие простые сочетания материалов

Примечания:

1. Указанные в таблице температуры являются предельно допустимыми для электроизоляционных материалов при их длительном использовании в электрических машинах и аппаратах, работающих в эксплуатационных нормальных условиях.

2. Температуры в наиболее нагретом месте изоляции не должны превышать указанных предельно допустимых величин при работе электрооборудования в номинальном режиме.

3. С электроизоляционными материалами данного класса допускается совместное применение материалов предшествующих классов при условии, что под действием температуры, допускаемой для материалов более высокого класса, электрические и механические свойства комплексной изоляции не должны претерпевать изменений, могущих вызвать непригодность изоляции для длительной работы.

Тропикостойкость — тропическая стойкость электроизоляционных материалов к комплексу внешних воздействий, имеющихся в странах с тропическим климатом (Индия, Эфиопия и др.): высокая температура окружающего воздуха; резкое изменение температуры в течение суток (на 40° C и более); высокая влажность воздуха; интенсивная солнечная радиация; плесневые грибки (растительные микроорганизмы); насекомые и воздух, содержащий соли в большом количестве.

Тропикостойкость материалов определяется в результате большого количества испытаний в перечисленных выше условиях, создаваемых искусственным путем.

Наиболее стойкими к тропическим воздействиям являются диэлектрики неорганического происхождения: кварцевое стекло, электрокерамические материалы. Хорошей тропикостойкостью обладают некоторые высокополимерные диэлектрики: кремнийорганические, полихлорвиниловые, эпоксидные и др. [1].

§ 6. Газообразные диэлектрики

Газообразными диэлектриками являются все газы, в том числе воздух [2], широко используемый в электротехнических установках. Электропроводность газообразных диэлектриков обусловлена наличием в них свободных электрически заряженных частиц — электронов и ионов.

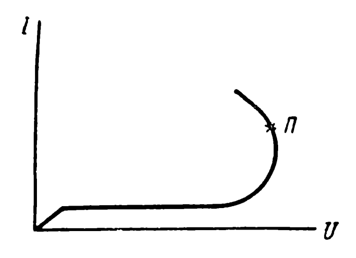


Рис. 9. Зависимость тока от напряжения (вольт-амперная характеристика) для воздуха

При приложении к слою газа электрического напряжения в нем возникает ток проводимости (рис. 9). С дальнейшим повышением напряжения наступает пробой газа (точка *П* на рис. 9). Пробой в однородном электрическом поле происходит в виде искрового разряда (искры), соединяющего металлические электроды, помещенные в газовой среде. Явление пробоя газообразных диэлектриков в однородном электрическом поле описывается законом Пашена, согласно которому пробивное напряжение ($U_{пр}$) всякого газообразного диэлектрика (газа) есть функция произведения давления газа (p) на толщину (h) слоя газа

$$U_{пр} = F(ph). \qquad (20)$$

Согласно закону Пашена [3] пробивное напряжение всякого газообразного диэлектрика возрастает пропорционально произведению давления газа на толщину слоя газа (рис. 10). Пробивное напряже-

[1] У диэлектриков специального назначения определяют еще радиационную стойкость — степень изменения их физико-химических, механических и электрических свойств под действием ионизирующих излучений (гамма-излучение, нейтронное излучение и др.).

[2] В состав воздуха входят пары воды и газы: азот (78%), кислород (20,99%), углекислый газ (0,03%), аргон (0,9325%), водород (0,01%), неон (0,0018%), гелий, криптон и ксенон (в сумме составляют десятитысячные доли процента — по объему).

[3] Точное выражение закона Пашена

$$U_{пр} = \frac{Aph}{\ln \dfrac{Bph}{\ln\left(1+\dfrac{1}{\gamma}\right)}} \ в,$$

где A и B — коэффициенты, зависящие от состава газа;
γ — коэффициент ударной ионизации иона о катод;
p — давление (*мм рт. ст.*);
h — толщина (*см*) слоя газа.

ние увеличивается с увеличением давления газа и толщины слоя газа.

С уменьшением же давления газа и расстояния между электродами пробивное напряжение $U_{пр}$ уменьшается, но пройдя минимум,

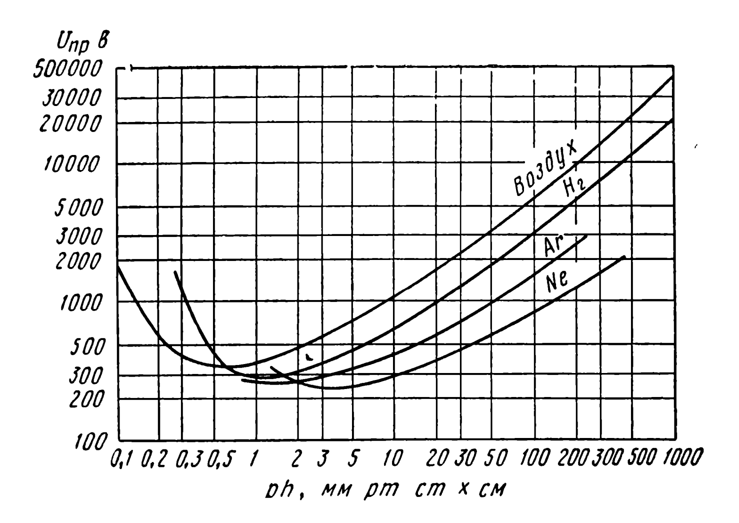


Рис. 10. Зависимость пробивного напряжения газов от произведения: давления газа на толщину слоя газа (поле однородное)

оно снова возрастает (отклонение от закона Пашена). Поэтому величина электрической прочности $E_{пр}$ для любого газа возрастает с уменьшением расстояния между электродами (рис. 11). Начиная с расстояния 2 *см* и выше, значения $E_{пр}$ стремятся к постоянной величине. При расстояниях между электродами (однородное поле) 1—3 *см* электрическая прочность воздуха принимается равной

$$30\,\frac{кв_{макс}}{см}\left(21{,}3\,\frac{кв}{см}\right).$$

Пробой газообразных диэлектриков в неоднородных электрических полях проходит ряд промежуточных стадий неполного пробоя газа (электрическая корсна, кистевой разряд).

Типичными электродами, образующими неоднородные (неравномерные) электрические поля, являются: острие — плоскость; острие — острие; цилиндр внутри цилиндра и др. Наибольшая неоднородность электрического поля создается между электродами острие — плоскость.

На пробой газа в неравномерных электрических полях (рис. 12) оказывают влияние степень неравномерности поля, полярность и форма электродов.

Для ориентировочных подсчетов величины пробивного напряжения воздуха пользуются эмпирическими формулами для электродов

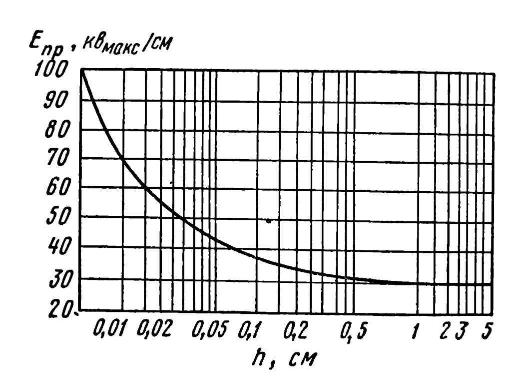


Рис. 11. Зависимость электрической прочности воздуха от расстояния между электродами в однородном поле ($p = 760$ *мм рт. ст.*; $t = 20°$ С, нормальная влажность 11 *г/м³*)

острие — острие. Так, для переменного напряжения частотой 50 *гц* при $p = 760$ *мм рт. ст.* $t = 20°$ С и относительной влажности воздуха 65% при расстояниях между электродами $h > 30$ *см*:

$U_{пр} = 15 + 3{,}8h$ *кв* — для электродов, изолированных от земли;
$U_{пр} = 15 + 3{,}6h$ *кв* — для тех же электродов, но один из которых заземлен.

При расстояниях $h < 30$ *см* для определения $U_{пр}$ можно пользоваться графиком, изображенным на рис. 13.

Пробивное напряжение газообразных диэлектриков возрастает с увеличением их плотности, зависящей от давления и температуры. Так если пробивное напряжение воздуха при давлении 760 *мм рт. ст.* и температуре 20° С равно $U_{пр}$, то при давлении $p_и$ и температуре $t_и$ оно будет

$$U_{пр_и} = U_{пр}\delta = U_{пр}\frac{p_и(273+20)}{760\,(273+t_и)}, \qquad (21)$$

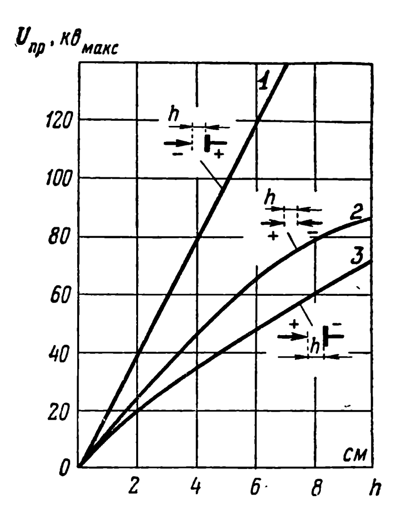


Рис. 12. Зависимость пробивного напряжения воздуха между электродами: острие — плоскость и острие — острие (при разных полярностях острия)

1 — пробивные напряжения воздуха при отрицательном острие и положительно заряженной плоскости, *2* — пробивные напряжения воздуха при двух остриях, *3* — пробивные напряжения воздуха при положительном острие и отрицательно заряженной плоскости

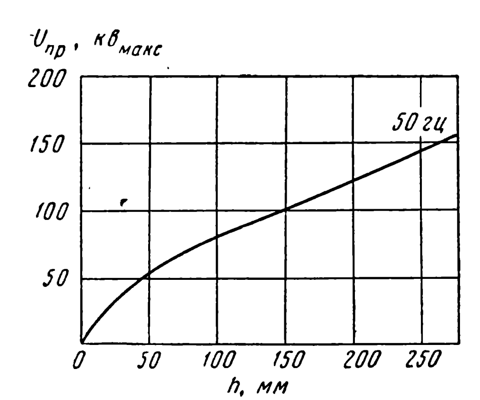


Рис. 13. Зависимость пробивного напряжения воздуха от расстояния между электродами: острие — острие. Один электрод заземлен ($p=760$ *мм рт. ст.*; $t=20°$ С; нормальная влажность 11 $г/м^3$)

где $p_и$ — давление воздуха в условиях испытания;

$t_и$ — температура воздуха в условиях испытания;

$$\delta = \frac{p_и (273+20)}{760 (273+t_и)}$$ — относительная плотность воздуха.

Для сравнения результатов испытаний по пробою воздушных промежутков полученные величины пробивных (разрядных) напря-

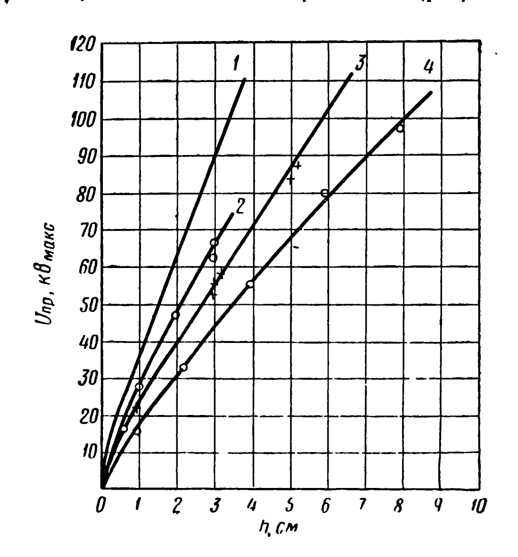


Рис. 14. Зависимость пробивного напряжения воздуха от расстояния между электродами в присутствии твердого диэлектрика (сплошной цилиндр, зажатый между двумя электродами). Переменное напряжение 50 *гц*. Диаметр цилиндрических образцов твердых диэлектриков 50 *мм*:

1 — пробой воздуха в отсутствии твердого диэлектрика, *2* — пробой воздуха в присутствии парафина, *3* — пробой воздуха в присутствии фарфора, *4* — пробой воздуха в присутствии фибры

жений необходимо приводить к нормальным атмосферным условиям ($p = 760$ *мм рт. ст.* $t = 20°C$), согласно формуле

$$U_{пр} = \frac{U_{пр_и}}{\delta}, \tag{22}$$

где $U_{пр_и}$ — пробивное напряжение в условиях испытания.

Влажность газообразных диэлектриков также оказывает влияние на величину их пробивного напряжения, которое возрастает с увеличением влажности газа, но только до наступления полного насыще-

ния воздуха влагой (точка росы). Образование капелек воды на электродах в газе вызывает понижение пробивного напряжения газа.

У воздуха заметное влияние влажности на величину $U_{пр}$ наблюдается главным образом в неоднородных полях.

За нормальную абсолютную влажность воздуха принимается

$$\gamma = 11 \ г/м^3.$$

Повышения разрядных напряжений газообразных диэлектриков можно достигнуть посредством установки в промежутках между электродами барьеров из листовых электроизоляционных материалов (электротехнический картон и др.).

При пробое газа у поверхности твердого диэлектрика наблюдается снижение пробивного напряжения $U_{пр}$ газа (рис. 14). Наибольшее снижение $U_{пр}$ наблюдается в случае пробоя газа у поверхности твердого диэлектрика, хорошо смачиваемого влагой (фибра и др.). Некоторого повышения $U_{пр}$ в этих случаях можно достигнуть, применяя плохо смачиваемые водой (гидрофобные) диэлектрики, а главное — разработкой электроизоляционных конструкций (изоляторы и др.), в которых затруднено развитие скользящих разрядов по поверхности твердого диэлектрика. В табл. 2 приводятся основные характеристики газообразных диэлектриков, используемых в электротехнике.

Таблица 2

Основные характеристики газообразных диэлектриков

Газ	Химическая формула	Плотность при 0 °С и 760 *мм рт. ст.*, *г/л* (*кг/м³*)	Диэлектрическая проницаемость	Электрическая прочность (однородное поле), *кв/мм*	Коэффициент теплопроводности при 20 °С, *вт/(м·град)*	Теплоемкость, *дж/(кг·град)*	Температура кипения при 760 *мм рт. ст.*, °С
Воздух	Смесь газов	1,2928	1,00058	3,0	0,025537	1006,5	—193,0
Азот	N_2	1,2507	1,00058	3,0	0,024426	1041,8	—195,8
Водород	H_2	0,0898	1,00027	1,8	0,174450	14285,3	—252,8
Углекислый газ	CO_2	1,9768	1,00098	2,7	0,02326	843,64	—78,5
Элегаз	SF_6	6,4851	1,00099	7,2	0,03198	597,39	—63,8
Фреон	CCl_2F_2	0,54306	—	7,8	0,01046	962,96	—29,8

§ 7. Жидкие и полужидкие диэлектрики

К жидким диэлектрикам относятся очищенное минеральное масло (трансформаторное, конденсаторное, кабель-

Таблица 3

Основные характеристики электроизоляционных жидкостей

Характеристики*	Единицы измерения	Минеральные масла			Синтетические жидкости			
		трансформаторное ТК	трансформаторное ТКп	конденсаторное	совол	совтол-2	ПЭС-Д	ПМС-10Д**
Плотность*** при 20° С	$г/см^3$	0,88	0,89	0,92	1,54	1,52	1,02	0,95
Цвет	—	Желтый	Желтый	Желтый	Бесцветный	Бесцветный	Бесцветный	Бесцветный
Зольность (не более)	%	0,005	0,005	0,0015	—	—	—	—
Кислотное (не более) число	*мг* КОН/*г*	0,050	0,02	0,02	0,015	0,01	—	—
Температура застывания (не выше)	°С	—45	—45	—45	+5	—40	—60	—60
Температура вспышки паров (не ниже)	°С	135	135	135	200	200	150	—
Температурный коэффициент расширения	1°С	0,00070	0,00063	0,00067	0,00065	0,0006	0,0008	0,0009
Коэффициент теплопроводности при 20—90°С	*вт/см.*× ×*град*	0,0020	0,0020	0,00162	—	—	—	—
Вязкость при 20°С (не более)	*сст*	30	30	40	При 40°С 290	115	85	—
Вязкость при 50°С (не более)	*сст*	9,6	9,0	10,5	При 65°С 28,0	При 65°С 3,4	—	—
Удельное объемное сопротивление при 20°С	*ом·см*	$10^{14}\div10^{15}$	$10^{14}\div10^{15}$	10^{14}—10^{15}	10^{14}	10^{13}—10^{14}	10^{14}—10^{15}	10^{14}—10^{15}

Таблица 3 (продолжение)

Характеристики*	Единицы измерения	Минеральные масла			Синтетические жидкости			
		трансформаторное ТК	трансформаторное ТКп	конденсаторное	совол	совтол-2	ПЭС-Д	ПМС-10Д**
Тангенс угла диэлектрических потерь при 20°C и 50 *гц* (не более)	—	0,003****	0,002****	0,005	0,05*****	0,008*****	0,0003	0,0008
Диэлектрическая проницаемость при 20°C	—	2,1—2,2	2,2÷2,4	2,1÷2,3	5,2	4,6	2,4—2,8	2,6
Электрическая прочность при 20°C и 50 *гц*	*кв/мм*	18	18	20	18	20	18	6

* Для выражения плотности $\left(\frac{кг}{м^3}\right)$, коэффициента теплопроводности $\left(\frac{вт}{м°C}\right)$ и вязкости $\left(\frac{м^2}{сек}\right)$ в системе единиц СИ необходимо значение табличных величин умножить соответственно на 10^3, 10^2 и 10^6.

** Кремнийорганическая жидкость ПМС-10Д отличается виброустойчивостью.

*** Приведены средние значения плотности.

**** У высушенного и профильтрованного масла.

***** При температуре 90°C у совола tg δ=0,03, а у совтола-2 tg δ=0,04.

Таблица 4

Основные характеристики кабельных масел

Характеристики	Единицы измерения	Масло маловязкое МН-2	Масло повышенной вязкости С-110	Масло повышенной вязкости С-220	Высоковязкое масло (Брайтсток) П-28	Высоковязкое синтетическое масло (Октол)
Плотность при 20°С	*г/см*³	0,89—0,90	0,89—0895	0,88—089	0,90—0,92	0,85—0,87
Цвет	—	Светло-желтый	Бесцветный	Бесцветный	Желтый	Светло-желтый
Зольность (не более)	%	0,005	0,001	0,001	0,005	0,004
Кислотное число (не более)	*мг* КОН/*г*	0,04	0,01	0,02	0,05	0,03
Температура застывания (не выше)	°С	—45	—15	—30	—10	—15
Температура вспышки паров (не ниже)	°С	135	200	180	240	165
Вязкость:						
при 20°С	*сст*	36—37	680—800	800—900	2000	$(13 \div 14) \cdot 10^3$
при 50°С		9,0—9,6	80—120	50—60	—	410—460
при 100°С		—	15—17,5	11—12	26—30	45—60
Удельное объемное сопротивление при 20°С	*ом·см*	10^{14}—10^{15}	10^{14}—10^{15}	10^{15}—10^{16}	10^{13}—10^{14}	10^{14}
Диэлектрическая проницаемость при 20°С	—	2,2—2,3	2,1—2,2	2,1—2,2	2,2—2,4	2,2—2,4
Тангенс угла диэлектрических потерь при 100°С и 50 *гц* (не более)	—	0,003	0,003	0,003	0,025	0,005
Электрическая прочность при 20° С и 50 *гц*	*кв/мм*	18—20	18—22	20—24	14—18	16—17

ное и др.) и синтетические жидкие диэлектрики (совол, совтол, ПЭС-Д, ПМС-10Д и др.).

К полужидким диэлектрикам относятся очищенные нефтяные и синтетические вазелины. Вазелины, как и минеральные масла, являются материалами горючими. Совол и совтол — жидкости негорючие, но токсичные.

Все кабельные масла отличаются малым газовыделением, что обеспечивает высокую электрическую прочность изоляции высоковольтных кабелей.

Кремнийорганические жидкости: ПЭС-Д, ПМС-10Д и вазелины обладают повышенной нагревостойкостью и морозостойкостью. Они могут применяться в интервале температур от —60 до 180° С.

В табл. 3, 4 и 5 приведены характеристики электроизоляционных жидкостей и вазелинов.

Таблица 5

Основные характеристики электроизоляционных вазелинов

Характеристики	Единицы измерения	Нефтяной конденсаторный вазелин	Вазелины кремнийорганические	
			КВ-3	КВ-Э/16
Плотность	*г/см³*	0,82—0,84	0,90	0,92
Зольность (не более)	%	0,004	—	—
Кислотное число (не более)	*мг* КОН / *г*	0,04—0,05	—	—
Вязкость при 60°С (не более)	*сст*	28—30	—	—
Температура каплепадения	°С	37	—	—
Удельное объемное сопротивление при 20°С	*ом·см*	10^{14}—10^{15}	10^{14}	10^{14}—10^{15}
Диэлектрическая проницаемость при 20°С	—	3,8	2,8	2,8
Тангенс угла диэлектрических потерь при 20°С и $f=10^6$ *гц*	—	0,001—0,002	0,006	0,005
Электрическая прочность при 20°С и 50 *гц*	*кв/мм*	20—22	15	30

§ 8. Высокополимерные диэлектрики

Высокополимерные материалы (полимеры) состоят из молекул большой величины, которые включают в себя десятки и сотни тысяч молекул исходных веществ — мономеров.

Различают полимеры природные (натуральный каучук, янтарь и др.) и синтетические (синтетический каучук, полиэтилен, полистирол, поливинилхлорид и др.). Главное применение находят синтетические диэлектрики.

Характерной особенностью полимеров являются их хорошие электроизоляционные свойства. Синтетические полимеры образуются

в процессе реакций полимеризации — полимеризационные материалы или поликонденсации — поликонденсационные материалы. Последние имеют более низкие электроизоляционные свойства, так как в процессе поликонденсации они загрязняются побочными веществами (кислотами, водой и др.).

Высокополимерные материалы, состоящие из линейных ориентированных молекул (каучуки, резины и др.), обладают гибкостью, а высокополимеры, состоящие из пространственно развитых молекул (бакелиты, глифтали и др.), гибкостью не обладают. Линейные полимеры, как правило, являются веществами термопластичными, т. е. размягчающимися при нагреве. Этим свойством пользуются при изготовлении из термопластичных полимеров гибких изделий: пленок, нитей, а также при производстве литых деталей (каркасы катушек, платы и др.). Высокополимерные материалы, состоящие из пространственно развитых молекул, являются, как правило, веществами термореактивными. Эти материалы после термической обработки переходят в неплавкое и нерастворимое состояние (бакелиты, глифтали и др.).

Высокополимерные материалы выпускаются химической промышленностью в виде порошков, гранул, а также в виде листов, пластин и тонких пленок. Эти полуфабрикаты затем перерабатываются в электроизоляционные изделия (каркасы катушек, изоляционные платы и др.) методами прессования, литья под давлением и др. Основные характеристики полимерных диэлектриков приведены в табл. 6.

§ 9. Электроизоляционные пленочные материалы и пленкоэлектрокартоны

Большое применение в электротехнике получили пленочные электроизоляционные материалы (пленки) и ленты, получаемые из некоторых полимеров (табл. 7 и 8). Пленки изготовляют толщиной 5—250 *мкм*, а ленты 0,2—3,0 *мм*. Высокополимерные пленки и ленты отличаются большой гибкостью, механической прочностью и хорошими электроизоляционными свойствами.

Полистирольные пленки выпускают толщиной 20—100 *мкм* и шириной 8—250 *мм*.

Полиэтиленовые пленки выпускают толщиной 30—200 *мкм* и шириной 230—1500 *мм*.

Пленки из фторопласта-4 выпускают толщиной 5—40 *мкм* и шириной 10—200 *мм*. Из фторопласта-4 изготавливают неориентированные и ориентированные пленки. Наиболее высокими механическими и электрическими характеристиками обладают ориентированные фторопластовые пленки.

Полиэтилентерефталатные (лавсановые) пленки выпускают толщиной 25—100 *мкм* и шириной 50—650 *мм*.

Полихлорвиниловые пленки изготавливают из винипласта и из пластифицированного полихлорвинила. Большей механической прочностью, но меньшей гибкостью обладают пленки из винипласта. Пленки из винипласта изготавливают толщиной 100 *мкм* и более, а пленки из пластифицированного полихлорвинила толщиной 20—200 *мкм*.

Триацетатцеллюлозные (триацетатные) пленки выпускают непластифицированными (жесткими), окрашенными в голубой цвет,

Основные характеристики синтетических

Наименование диэлектрика	Плотность *, г/см^3	Предел прочности			Теплостойкость по Мартенсу, °С	Морозостойкость, °С
		при растяжении, кГ/см^2	при статическом изгибе, кГ/см^2	при ударном изгибе, $\frac{кГ \cdot см}{см^2}$		
Полистирол	1,05—1,10	350—500	950—1000	12—18	78—80	60
Полистирол ударопрочный стабилизированный	1,1	300	550—650	40—50	75	60
Полиэтилен низкой плотности (высокого давления)	0,92	100—140	120—170	Не ломается	55—60	50—70
Полиэтилен высокой плотности (низкого давления)	0,96	220—230	200—350	Не ломается	60—70	—60
Полипропилен	0,91	300—350	900—1100	70—80	Температура размягчения 160—170	—20
Полиформальдегид	1,42	700	1000	90—100	100	—45

Таблица 6

высокополимерных диэлектриков

Электрические характеристики при 20° С				Общая характеристика и область применения
удельное объемное сопротивление, *ом·см*	диэлектрическая проницаемость при 50 *гц*	тангенс угла диэлектрических потерь при 50 *гц*	электрическая прочность при 50 *гц*, *кв/мм*	
10^{15}—10^{17}	2,4—2,7	$(2\div4)\times10^{-4}$	25—30	Прозрачный термопластичный материал. Применяется для изготовления каркасов, катушек, изоляционных плат и пленок
10^{15}	2,6	$6\cdot10^{-4}$	25	Непрозрачный термопластичный материал. Область применения та же, что и у полистирола
10^{15}—10^{17}	2,3	$(2\div3)10^{-4}$	40—42	То же, но обладает гибкостью, стойкостью к воде и растворителям. Применяется в качестве гибкой изоляции проводов и кабелей
10^{15}—10^{17}	2,4	$5\cdot10^{-4}$	40—42	Непрозрачный термопластичный материал, стойкий к воде и растворителям. Применяется для изготовления каркасов, катушек, изоляционных плат и др.
10^{15}—10^{17}	2,1	$(2\div3)10^{-4}$	30—35	Прозрачный термопластичный материал, стойкий к воде и растворителям. Область применения та же, что и у полистирола
10^{14}—10^{15}	3,7	$(3\div5)10^{-4}$	24	Непрозрачный термопластичный материал с повышенными механическими и антифрикционными свойствами и малой усадкой. Область применения та же, что и у полистирола, и, кроме того, применяется для изготовления подшипников и шестерен

Наименование диэлектрика	Плотность *, г/см³	Предел прочности			Теплостойкость по Мартенсу, ° С	Морозостойкость, ° С
		при растяжении, кГ/см²	при статическом изгибе, кГ/см²	при ударном изгибе, кГ·см/см²		
Полиуретан	1,21	500—600	700—800	50—60	60	—35
Поликапролактам (капрон)	1,14	500—800	800—950	150—160	50—55	—25
Полиметилметакрилат (органическое стекло)	1,19	600—700	800—1000	12—16	60—70	—60
Винипласт	1,4	400—500	800—900	90—120	60—70	—15
Пластикат полихлорвиниловый	1,3—1,4	100—180	Не ломается	—	Температура размягчения 170—180°С	—25÷—50
Полиэтилен—терефталат (лавсан)	1,3—1,4	300	1500	—	Температура плавления 255°С	—55

Электрические характеристики при 20°С				Общая характеристика и область применения
удельное объемное сопротивление, *ом·см*	диэлектрическая проницаемость при 50 *гц*	тангенс угла диэлектрических потерь при 50 *гц*	электрическая прочность при 50 *гц*, *кв/мм*	
10^{14}	4,6	$12 \cdot 10^{-3}$	20—25	Непрозрачный термопластичный материал с повышенными механическими свойствами. Область применения та же, что и полистирола и полипропилена, кроме того, применяется для изготовления лаков и пенопластов
10^{13}—10^{14}	4,0	$(25 \div 40)10^{-3}$	16—20	Непрозрачный термопластичный материал. Применяется для изготовления деталей низкого напряжения. Обладает повышенным водопоглощением (8—10%)
10^{12}—10^{13}	3,6	$6 \cdot 10^{-2}$	15—18	Прозрачный термопластичный материал. Применяется для электроизоляционных деталей и как дугогасящий материал в разрядниках высокого напряжения
10^{14}	3,5—4,0	$(1 \div 5)10^{-2}$	20	Негорючий термопластичный ударопрочный химически стойкий материал. Применяется для изготовления конструкций и деталей, стойких к удару и агрессивным средам
10^{13}—10^{14}	4—7	$(3 \div 8)10^{-2}$	15—20	Негорючий термопластичный химически стойкий материал, обладающий значительной гибкостью. Применяется в качестве гибкой изоляции проводов и для изготовления трубок и лент
10^{14}—10^{15}	3,5	$(2 \div 6)10^{-3}$	30	Полупрозрачный термопластичный химически стойкий материал. Применяется в виде литых изделий пленок и волокон

Наименование диэлектрика	Плотность *, $г/см^3$	Предел прочности			Теплостойкость по Мартенсу, ° С	Морозостойкость, ° С
		при растяжении, $кГ/см^2$	при статическом изгибе, $кГ/см^2$	при ударном изгибе, $\frac{кГ \cdot см}{см^2}$		
Фторопласт-3	2,10—2,18	300—400	600—800	20—30	70—75	От—185 до—195
Фторопласт-4**	2,14—2,25	160—290	120—140	100—120	200—250	—195
Эскапон	0,98—1,00	450—600	500—600	10—20	130—150	—60
Эбонит	1,15—1,25	300—500	700—1000	4—15	50—58	—

* Для выражения плотности, пределов прочности (при растяжении, ста величин помножить соответственно на 10^3, 10^5, 10^5 и 10^3 соответственно.

** Имеется несколько разновидностей фторопласта-4 (фторопласт-4Д, фторо нологичностью. Эти разновидности фторопласта-4 применяются преимущественно стики фторопласта-4 приведены для незакаленных образцов, легко механически

Таблица 6 (продолжение)

Электрические характеристики при 20° С				Общая характеристика и область применения
удельное объемное сопротивление, *ом·см*	диэлектрическая проницаемость при 50 *гц*	тангенс угла диэлектрических потерь при 50 *гц*	электрическая прочность при 50 *гц*, *кв/мм*	
10^{15}—10^{16}	2,5—3,0	$(10\div15)\times10^{-3}$	15—20	Термопластичный химически стойкий, роговидный, негорючий материал. Применяется в виде пленок и прессованных изделий
10^{17}—10^{18}	2,0	$(1\div3)\times10^{-4}$	27—40	Непрозрачный химически стойкий негорючий и нерастворимый материал. Изделия получают прессованием из порошка. Пленки применяются в конденсаторах и проводниках в виде лент. Может применяться до температур 250°С
10^{15}—10^{17}	2,8—3,0	$(5\div8)\times10^{-4}$	30—35	Твердый роговидный материал желтого цвета, поддающийся всем видам механической обработки. Выпускается в виде брусков, плит и труб. Применяется в электроприборах
10^{14}—10^{15}	3,0—3,5	$(5\div10)\times10^{-3}$	15—20	Твердый роговидный материал на основе каучуков. Поддается всем видам механической обработки и горячей штамповке. Применяется для изоляции деталей в электроприборах

тическом изгибе и при ударном изгибе) в СИ необходимо значения табличных

пласт-4М, фторопласт-4ОШ и др.), отличающихся повышенной гибкостью и тех-
в качестве гибкой нагревостойкой изоляции проводов. Механические характери-
обрабатываемых.

Таблица 7

Основные характеристики пленочных электроизоляционных материалов

Пленки	Нагревостойкость, °C	Водопоглощаемость за 24 часа, %	Предел прочности при растяжении, $кГ/мм^2$	Морозостойкость, °C	Электрические характеристики при 20° C				Общая характеристика и область применения
					удельное объемное сопротивление, *ом·см*	диэлектрическая проницаемость при 50 *гц*	тангенс угла диэлектрических потерь при 50 *гц*	электрическая прочность при 50 *гц*, *кв/мм*	
Полистирольные (стиропленка)	65—70	0,02—0,05	5,0/8,0	От —50 до —60	10^{16}—10^{17}	2,2—2,4	$(2\div4)\ 10^{-4}$	80—110	Обладают малым сопротивлением надрыву. Растворяются в неполярных растворителях (бензол, четыреххлористый углерод и др.) Применяются в конденсаторах и кабелях высокой частоты
Полиэтиленовые	55—65	0,02	1,0/2,5	От —60 до —70	10^{16}—10^{17}	2,2—2,4	$(2\div5)\ 10^{-4}$	50—80	При комнатной температуре не растворяются в растворителях. Применяются в высокочастотных кабелях и в качестве прокладок

Политетрафторэтиленовые (фторопласт-4) ориентированные	220—250	0,00	10/30	От —60 до —100	10^{17}—10^{15}	1,9—2,1	$(1 \div 3)\ 10^{-4}$	100—200	Не горят и не растворяются. Применяются в конденсаторах, проводах высокой частоты и в качестве прокладок
Полиэтилентерефталатные (лавсан)	120	0,02	9/18	От —60 до —65	10^{13}—10^{14}	3,0—3,2	0,002—0,007	140—165	Обладают большим сопротивлением надрыву. Применяются в пазовой изоляции электрических машин низкого напряжения
Полиамидные (капроновые)	100—120	2—6	3,0/8,5	—15	10^{12}—10^{13}	3,6—4,0	0,03—0,08	30—60	Негорючие эластичные прозрачные пленки с большим сопротивлением надрыву. Применяются в качестве изоляционных прокладок. Не стойки к влаге
Полихлорвиниловые	60—70	0,14—0,25	8/15	От —35 до —50	10^{12}—10^{14}	3,5—4,2	0,01—0,05	15—25	Изоляционные ленты, стойкие к маслам, растворителям, озону и влаге
Триацетатцеллюлозные	100—105	2,8—6,0	9,0/12	—40	10^{14}—10^{15}	3,2—3,6	0,007—0,009	80—130	Применяются в качестве пазовой изоляции в электрических машинах низкого напряжения

Таблица 7 (продолжение)

Пленки	Нагревостойкость, °C	Водопоглощение за 24 часа, %	Предел прочности при растяжении, *кг/мм²*	Морозостойкость, °C	Электрические характеристики при 20° C				Общая характеристика и область применения
					Удельное объемное сопротивление, *ом·см*	диэлектрическая проницаемость при 50 *гц*	тангенс угла диэлектрических потерь при 50 *гц*	электрическая прочность при 50 *гц*, *кв/мм*	
Пленкоэлектрокартон на лавсановой пленке	120	—	6,0/12,0	—45	10^{13}—10^{14}	5—6	0,01÷0,04	30—35	Применяются в качестве пазовой изоляции в электрических машинах низкого напряжения, но при температурах до 120° C
Пленкоасбестокартон	130	—	5,0/9,0	—45	10^{13}—10^{14}	8—10	—	20—25	То же, но при температурах до 130° C

Примечания: 1. Для выражения предела прочности при растяжении в системе СИ $\left(\frac{н}{м^2}\right)$ нужно приведенные в таблице данные умножить на 10^5.

2. Меньшие значения предела прочности при растяжении (в числителе дроби) относятся к образцам, вырезанным поперек рулона, а бóльшие значения (в знаменателе дроби) относятся к образцам, вырезанным вдоль рулона.

§ 10. Электроизоляционные ленты

Таблица 8

Основные характеристики электроизоляционных лент

Наименование ленты	Толщина, *мм*	Ширина, *мм*	Предел прочности при растяжении, *кГ/см²*	Электрическая прочность при 50 *гц*, *кв/мм*	Общая характеристика и область применения
Смоляная	0,6; 0,8; 0,10	30; 50; 60; 75	10—11*	1,5—2,5	Хлопчатобумажная лента, пропитанная битуминозным составом. Применяется для уплотнений кабелей в соединительных муфтах и коробках
Прорезиненная	0,2; 0,3	10; 15; 20; 25, 50	6—7*	3,3—5,0	Миткалевая лента, пропитанная липкой резиновой пастой. Применяется для изоляции проводов в сетях низкого напряжения
Полихлорвиниловая	0,2; 0,3; 0,4; 0,45	15; 20; 30; 50	80—85	5—6	Лента из полихлорвинилового пластиката, покрытая с одной стороны липким составом. Применяется для изоляции соединений в устройствах низкого напряжения
Фторопластовая (неориентированная)	0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 3,0	50—90	150—155	40—42	Лента из фторопласта-4 (неориентированная). Применяется в изоляционных прокладках, работающих от —60 до +250° С
Полиэтилентерефталатная (лавсановая)	0,235	60—100	1500—1700	22—25	Прозрачная лента из лавсана с повышенной механической прочностью. Применяется в устройствах низкого напряжения

* Условная механическая прочность $\left(\frac{кГ}{см\ ширины}\right)$.

слабопластифицированными (бесцветными) и пластифицированными (окрашенные в синий цвет). Последние обладают значительной гибкостью. Триацетатные пленки выпускают толщиной 25, 40 и 70 *мкм* и шириной 500 *мм*.

Пленкоэлектрокартон — гибкий электроизоляционный материал, состоящий из изоляционного картона марки ЭВП или ЭВ, оклеенного с одной стороны лавсановой пленкой. Пленкоэлектрокартон на лавсановой пленке имеет толщину 0,27 и 0,32 *мм*. Пленкоэлектрокартоны выпускают в рулонах шириной 500 *мм*.

Пленкоасбестокартон — гибкий электроизоляционный материал, состоящий из лавсановой пленки толщиной 50 *мкм*, оклеенной с двух сторон асбестовой бумагой толщиной 0,12 *мм*. Пленкоасбестокартон выпускают в листах 400×400 *мм* (не менее) толщиной 0,3 *мм*.

§ 11. Электроизоляционные лаки и эмали

Лаки представляют собой растворы пленкообразующих веществ: смол, битумов, высыхающих масел (льняное, тунговое и др.), эфиров целлюлозы или композиций этих материалов в органических растворителях. В процессе сушки лака из него испаряются растворители, а в лаковой основе происходят физико-химические процессы, приводящие к образованию лаковой пленки. По своему назначению электроизоляционные лаки делят на пропиточные, покровные и клеящие.

Пропиточные лаки применяются для пропитки обмоток электрических машин и аппаратов с целью цементации их витков, увеличения коэффициента теплопроводности обмоток и повышения их влагостойкости. *Покровные лаки* позволяют создать защитные влагостойкие, маслостойкие и другие покрытия на поверхности обмоток или пластмассовых и других изоляционных деталей. *Клеящие лаки* предназначаются для склеивания листочков слюды друг с другом или с бумагой и тканями с целью получения слюдяных электроизоляционных материалов (миканиты, микалента и др.).

Эмали представляют собой лаки с введенными в них пигментами — неорганическими наполнителями (окись цинка, двуокись титана, железный сурик и др.) Пигментирующие вещества вводятся с целью повышения твердости, механической прочности, влагостойкости, дугостойкости и других свойств эмалевых пленок. Эмали являются покровными материалами.

По способу сушки различают лаки и эмали горячей (печной) и холодной (воздушной) сушки. Первые требуют для своего отверждения повышенных температур (от 80 до 200° С), а вторые высыхают при комнатной температуре. Лаки и эмали горячей сушки, как правило, обладают более высокими диэлектрическими, механическими и другими свойствами. С целью улучшения характеристик лаков и эмалей воздушной сушки, а также для ускорения отверждения, сушку их иногда производят при повышенных температурах (40—80° С).

Основные группы лаков отличаются следующими особенностями:

Масляные лаки образуют (после высыхания) гибкие эластичные пленки желтого цвета, стойкие к влаге и к нагретому минеральному маслу. По нагревостойкости пленки этих лаков относятся к классу А. В масляных лаках используют дефицитные льняное и тунговое масла, поэтому они заменяются лаками на синтетических смолах, более стойкими к тепловому старению.

Масляно-битумные лаки образуют гибкие пленки черного цвета, стойкие к влаге, но легко растворяющиеся в минеральных маслах (трансформаторное и смазочное). По нагревостойкости эти лаки относятся к классу А (105° С).

Глифталевые и масляно-глифталевые лаки и эмали отличаются хорошей клеящей способностью по отношению к слюде, бумагам, тканям и пластмассам. Пленки этих лаков обладают повышенной нагревостойкостью (класс В). Они стойки к нагретому минеральному маслу, но требуют горячей (печной) сушки при температурах 120—130°.

Чисто глифталевые лаки на основе немодифицированных глифталевых смол образуют твердые негибкие пленки (лак № 1155 и др.), применяемые в производстве твердой слюдяной изоляции (твердые миканиты). Масляно-глифталевые лаки после высыхания дают гибкие эластичные пленки желтого цвета.

Кремнийорганические лаки и эмали отличаются высокой нагревостойкостью и могут длительно работать при 180—200° С (класс Н и С), поэтому они применяются в сочетании со стекловолокнистой и слюдяной изоляцией. Пленки этих лаков обладают высокими значениями электрических характеристик, которые мало изменяются в процессе старения лаков. Наряду с этим пленки обладают высокой влагостойкостью и стойкостью к электрическим искрам.

Лаки и эмали на основе полихлорвиниловых и перхлорвиниловых смол отличаются стойкостью к воде, нагретым маслам, кислым и щелочным химическим реагентам, поэтому они применяются в качестве покровных лаков и эмалей для защиты обмоток, а также металлических деталей от коррозии. Следует иметь в виду слабое прилипание полихлорвиниловых и перхлорвиниловых лаков и эмалей к металлам. Последние вначале покрывают слоем грунта (на основе глифталевых и других смол), а затем лаком или эмалью на основе полихлорвиниловых или перхлорвиниловых смол. Сушка этих лаков и эмалей производится при 20°, а также при 50—60° С.

Недостатком полихлорвиниловых и перхлорвиниловых покрытий является их невысокая рабочая температура (60—70° С).

Лаки и эмали на основе эпоксидных смол отличаются высокой клеящей способностью и несколько повышенной нагревостойкостью (до 130° С).

Лаки на основе алкидных и фенольных смол (фенолоалкидные лаки) отличаются хорошей высыхаемостью в толстых слоях с образованием эластичных пленок, могущих длительно работать при температурах 120—130° С (классы Е и В). Пленки этих лаков обладают влаго- и маслостойкостью.

Водно-эмульсионные лаки представляют собой устойчивые эмульсии лаковых основ в водопроводной воде. Лаковые основы изготовляют из синтетических смол (фенолоформальдегидные и др.), а также из высыхающих масел (льняное, тунговое) и их смесей. Водно-эмульсионные лаки пожаро- и взрывобезопасны, так как они не содержат легковоспламеняющихся органических растворителей. Вследствие малой вязкости водно-эмульсионные лаки обладают очень хорошей пропитывающей способностью. Эти лаки применяют для пропитки неподвижных и подвижных обмоток электрических машин и аппаратов, длительно работающих при температурах до 105° С (класс А). В табл. 9 и 10 приведены наиболее важные характеристики электроизоляционных лаков и эмалей, широко применяемых в электротехнике.

Таблица 9

Основные характеристики электроизоляционных лаков

Классификация лака по основе	Номер лака или его обозначение*	Режим высыхания лака		Теплостойкость (термоэластичность) пленок при 105°С, *ч*	Электрические характеристики при 20° С		Разбавители	Общая характеристика и области применения
		температура сушки, °С	время сушки, *ч*		ρ_v, *ом·см*	$E_{пр}$, при 50 *гц*, *кв/мм*		
Масляные лаки	152	105	0,5—1,0	1—3	10^{12}—10^{14}	55—60	Смесь ксилола и уайт-спирита	Пропиточный и покровный лак, применяемый при ремонтах электрических машин
	202	210	15—17 *мин*	5—7	10^{12}—10^{13}	50—60	То же	Покровные лаки для изоляции листов электротехнической стали
	302	210	12—14 *мин*	6—8	10^{12}—10^{13}	60—70	Уайт-спирит, скипидар	Покровные лаки для изоляции листов электротехнической стали
Масляно-крезольный лак	9—627	105	20—30 *мин*	25—30	10^{13}—10^{14}	50—60	Ксилол, толуол	Влагостойкий, быстро высыхающий лак с высокой цементирующей способностью для пропитки обмоток
Масляно - битумные лаки	БТ-95 (441)	150	15—18	При 150°С 15—18	10^{13}—10^{14}	70—75	Ксилол, уайт-спирит и их смеси	Клеящий лак горячей сушки для клейки слюды (гибкие миканиты, микалента)

Масляно - битумные лаки	447	105	7—8**	При 150°C 7—10	10^{14}—10^{15}	55—65	Толуол, скипидар, бензин, уайт-спирит	Лак с высокой пропитывающей способностью для пропитки обмоток. Высокая влагостойкость пленок
	458	105	3—5**	При 150°C 2—3	10^{14}—10^{15}	55—60	То же	То же, но пленки этого лака менее эластичны. Ускоренное отвердевание пленок
	460	105	8—10	При 150°C 12—15	10^{14}—10^{15}	60—70	»	Пропиточный и покровный лак с повышенной эластичностью пленок; требует повышенных температур сушки (120—130°C)
	БТ-99 (462-П)	20	2—3	1—2	10^{14}—10^{15}	50—60	Уайт-спирит, каменноугольный сольвент	Покровный лак воздушной (20°C) сушки, дающий эластичную, но относительно мягкую пленку
	462-К	20	2—3	12—15	10^{13}—10^{14}	60—70	Толуол, ксилол	Клеящий лак воздушной (20°C) сушки, дающий гибкую эластичную пленку; применяется в производстве гибкой слюдяной изоляции
	317	20	12—14**	10—12	10^{13}—10^{14}	40—45	Бензин, толуол	Покровный лак воздушной сушки; применяется при ремонте электрических машин низкого напряжения

Продолжение табл. 9

Классификация лака по основе	Номер лака или его обозначение *	Режим высыхания лака		Теплостойкость (термоэластичность) пленок при 105°C, ч	Электрические характеристики при 20°C		Разбавители	Общая характеристика и области применения
		температура сушки, °C	время сушки, ч		ρ_v, ом·см	$E_{пр}$ при 50 гц, кв/мм		
Масляно-глифталевые лаки	ГФ-95 (1154)	105	1—2	При 150°C 48—100	10^{14}—10^{15}	70—75	Ксилол, сольвент, скипидар, бензин, и их смеси	Пропиточный и покровный лак для пропитки обмоток, работающих в масле
	7—627	105	2—3	120—150	10^{14}—10^{15}	60—75	Толуол, ксилол, бензин, сольвент-нафта и их смеси	Клеящий и пропиточный лак для лакирования листов электротехнической стали и пропитки обмоток электрических машин
	КФ-95 (321)	105	1—2	При 150°C 12—20	10^{15}	60—70	Ксилол, бензин, уайт-спирит и их смеси	Пропиточный и покровный лак ускоренного высыхания. Применяется для пропитки обмоток, работающих в масле и во влажной среде
	МГМ-8	105	5—6	При 150°C 35—50	10^{14}—10^{15}	80—95	То же	Водостойкий и химостойкий пропиточный лак с хорошей цемен-

								тирующей способностью
Алкидно-меламиновый лак	МЛ-92	105	0,6—1,0	При 150°С 24—30	10^{13}—10^{14}	60—70	Смесь толуола с уайт-спиритом	Пропиточный и покровный лак с повышенной влагостойкостью и хорошей высыхаемостью в толстых слоях
Алкидно-резольный лак	ФЛ-98 (АРБ-1)	120	1—2	При 150°С 30—50	10^{14}—10^{15}	80—85	Смесь ксилола и уайт-спирита	Пропиточные лаки с высокой цементирующей способностью
Алкидно-масляный лак	ФА-97 (АФ-17)	120	1—2	При 150°С 30—40	10^{14}—10^{15}	70—80	Ксилол	
Полиэфирно-эпоксидный лак	ПЭ-933 (этр-5)	150	1,5—2,0	При 150°С 200	10^{14}—10^{15}	80—85	Смесь толуола и этилцеллозольва	Пропиточный лак с повышенной влагостойкостью и твердостью пленок. Нагревостойкость 155°С
Кремнийорганические лаки	ЭФ-3БС	200	1,5—2,0	При 200°С 20—25	10^{14}	63—70	Смесь бензина и скипидара	Пропиточный лак. Нагревостойкость 180°С
	ЭФ-3БСУ	200	1,5—2,0	При 200°С 40—45	10^{14}	65—72	То же	То же
	К-47К	200	12—15 *мин*	При 200°С 50—60	10^{13}	60—65	Ксилол	» »
	К-47	200	15—20 *мин*	При 200°С 50—70	10^{14}—10^{15}	60—70	Этилцеллозольв	Покровный лак для листов электротехнической стали и др. Нагревостойкость 180°С

Продолжение табл. 9

Классификация лака по основе	Номер лака или его обозначение	Режим высыхания лака		Теплостойкость (термоэластичность) пленок при 105°С, *ч*	Электрические характеристики при 20°С		Разбавители	Общая характеристика и области применения
		температура сушки, °С	время сушки, *ч*		ρ_v, *ом·см*	$E_{пр}$ при 50 *гц*, *кв/мм*		
Кремнийорганические лаки	К-55	20	2—3	При 200°С 75—85	10^{13}—10^{14}	50—60	Ксилол	Влагостойкие пропиточные и покровные лаки, тропически стойкие. Нагревостойкость 180°С
	К-55-С	150	0,5	При 200°С 75—90	10^{13}—10^{14}	50—60		
	К-56	200	1,0	При 200°С 150—170	10^{13}—10^{14}	50—65	То же	То же
	К-57	200	25—30 *мин*	При 200°С 100—120	10^{13}—10^{14}	50—65	Толуол	Пропиточный лак. Нагревостойкость 200°С; кратковременно — до 300°С
	К-60	200	1,5—2	При 200°С 150—170	10^{13}—10^{14}	50—65	То же	То же
	К-71	200	1—2	При 200°С 50—60	10^{13}—10^{14}	50—65	Уайт-спирит	Покровный лак. Нагревостойкость до 180°С; применяется также для лакирова-

								ния электротехнической стали
	КО-947	200	1—2	При 250°С 150—200	10^{16}	85—100	Ксилол	Пропиточный лак, хорошо высыхающий в толстых слоях; влагостойкий. Нагревостойкость до 180°С
	КО-964	200	1—1,5	При 200°С 300—400	10^{16}	85—115	То же	То же
Водно-эмульсионные лаки	321-В	105	2—3**	При 150°С 20—30	10^{13}—10^{14}	30—35	Питьевая вода	Пропиточные лаки для обмоток машин низкого напряжения класса А (105°С)
	321-Т	105	2—3**	При 150°С 25—35	10^{14}—10^{15}	32—40	То же	
	ПФЛ-8в	125	0,5—1**	При 150°С 10—15	10^{14}—10^{15}	45—50	»	

* В скобках показаны прежние обозначения лаков.
** Время высыхания лака на конденсаторной бумаге.

Классификация эмали по основе	Номер эмали или обозначение*	Цвет пленки эмали	Режим высыхания эмали		Теплостойкость (термоэластичность), ч
			температура сушки, °С	время сушки, ч	
Глифталемасляные	ГФ-92-ГС (СПД)	Серый	105	3—4	При 150°С 10—12
	ГФ-92-ХС (СВД)	Серый	20	20—24	При 150°С 1—3
	ГФ-92-ХК (КВД)	Красный	20	20—24	При 150°С 1—3
Нитроглифталевые	1201	Розовый	20	13—16	При 105°С 2—5
	1202	Светлокоричневый	20	2—4	При 105°С 2—5
На основе глифталевых и карбамидных смол	У-416	Серый	105	0,5—1,0	При 150°С 3—5

электроизоляционных эмалей

Электрические характеристики при 20 °С		Разбавители	Общая характеристика и области применения
ρ_v, *ом·см*	$E_{гр}$ при 50 *гц*, *кв/мм*		
10^{13}—10^{14}	50—60	Смесь толуола и уайт-спирита; сольвент каменноугольный	Пигментированный литопоном и пиролюзитом глифтале-масляный лак. Пленки эмали после горячей сушки (105°С) обладают маслостойкостью и дугостойкостью. Применяется для покрытия обмоток, работающих при температурах до 130°С
10^{12}—10^{13}	30—35	То же	То же, но с введенным сиккативом для сушки при 20°С. Эмаль применяется для защиты только неподвижных обмоток электрических машин с изоляцией класса А (105°С)
10^{12}—10^{13}	30—35	Смесь толуола и бутилацетата	Пигментированный железным суриком глифтале-масляный лак с введенным сиккативом для сушки при 20°С. Эмаль применяется для защиты только неподвижных обмоток электрических машин и пластмассовых деталей
10^{13}—10^{14}	30—40	Смесь толуола и этилацетата	Пигментированный нитроглифталевый лак, быстро отверждающийся при 20°С. Пленки эмали образуют маслостойкое покрытие повышенной твердости. Применяется для защиты обмоток, работающих при температурах до 105°С
10^{13}—10^{14}	50—65	То же	То же, но с добавлением коллоксилина. Пленки и эмали обладают масло- и бензостойкостью и быстро высыхают
10^{12}—10^{14}	50—65	Смесь ксилола и бутанола	Пигментированный литопоном и пиролюзитом глифтале-масляный лак модифицированный меламино-формальдегидной смо-

Классификация эмали по основе	Номер эмали или обозначение*	Цвет пленки эмали	Режим высыхания эмали		Теплостойкость (термоэластичность), ч
			температура сушки, °С	время сушки, ч	
	У-417	Черный	105	0,5—1,0	При 150°С 3—5
Эпоксидные	ЭП-51	Белый, темно-серый и др.	180	1—2**	При 150°С 6—8
	ЭП-91	Зеленый	180	2—3**	То же
	ОЭП-4171-1	То же	120	1,5—2	»
Кремнийорганические	КО-911	Розовый и коричневый	20	22—24	При 200°С 48—50
	КО-918	Коричневый	120—200	2+16***	При 200°С 200—300
	ПКЭ-14	Розовый	200	2—3	При 200°С 120—150

Электрические характеристики при 20 °С		Разбавители	Общая характеристика и области применения
ρ_v, *ом·см*	$E_{пр}$ при 50 *гц*, *кв/мм*		
			лой. После горячей сушки (105°С) пленки эмали обладают масло-,водо- и бензостойкостью.
10^{12}—10^{14}	70—80	Смесь ксилола и бутанола	То же, но с повышенными электрическими характеристиками. Эмали У-416 и У-417 применяются для защиты обмоток электрических машин и аппаратов от масла и влаги
10^{13}—10^{14}	50—60	Толуол, ксилол, этиловый спирт и их смеси	Пигментированный эпоксидно-алкидный лак. Образует масло- и водостойкие покрытия (до 120°С)
10^{14}—10^{15}	60—70	То же	Пигментированный эпоксидно-фенольный лак. Покрытия могут работать до 130°С
10^{15}	50—65	Толуол	Защитные покрытия обмоток электрических машин низкого напряжения
10^{12}—10^{13}	50—65	То же	Защитные покрытия обмоток электрических машин с изоляцией класса Н (180°С)
10^{14}—10^{16}	70—90	»	То же, но с повышенными электрическими характеристиками
10^{13}—10^{14}	40—55	»	Пигментированный железным суриком и двуокисью титана кремнийорганический лак К-48. Пленки эмали обладают высокой маслостойкостью. Эмаль применяется для покрытия обмоток, длительно работающих при 180°С, а также при повышенной влажности

Классификация эмали по основе	Номер эмали или обозначение*	Цвет пленки эмали	Режим высыхания эмали		Теплостойкость (термоэластичность), ч
			температура сушки, °С	время сушки, ч	
	ПКЭ-19	Розовый	120	1—2	При 200°С 80—150
	ПКЭ-22	Красно-коричневый	120	1—2	При 200°С 80—120
	ПВЭ-2	Розовый	20	20—24	При 150°С 80—100
Перхлорвиниловые	ХСЭ-26	Красно-коричневый	20	1—2	При 100°С 15—20
	ПХВ-1	Белый	20	2—3	При 100°С 10—15

Электрические характеристики при 20 °C		Разбавители	Общая характеристика и области применения
ρ_v, *ом·см*	$E_{пр}$ при 50 *гц*, *кв/мм*		
10^{13}—10^{15}	40—80	Толуол	Пигментированный железным суриком и двуокисью титана кремнийорганический лак К-54. Пленки эмали обладают повышенной твердостью, масло- и водостойкостью. Эмаль применяется для покрытия обмоток, работающих во влажной атмосфере и в тропических условиях
10^{13}—10^{14}	40—60	То же	Пигментированный железным суриком кремнийорганический лак К-54. Применяется для покрытий лобовых частей обмоток и при ремонтах электрических машин и аппаратов, работающих во влажной атмосфере и тропических условиях
10^{13}—10^{14}	30—50	»	Пигментированный железным суриком и двуокисью титана композиционный алкидно-кремнийорганический лак. Эмаль применяется при ремонтах и для исправлений дефектов на покрытиях эмалями ПКЭ-14, ПКЭ-19 и ПКЭ-22 лобовых частей обмоток
10^{13}—10^{15}	35—50	Р-4	Пигментированный перхлорвиниловый лак, модифицированный алкидной смолой. Пленки эмали обладают высокой стойкостью к воде и минеральным маслам
10^{12}—10^{14}	20—40	Р-4	Пигментированный перхлорированный лак, модифицированный алкидной смолой. Пленки эмали обладают высокой стойкостью к воде и минеральным маслам

Классификация эмали по основе	Номер эмали или обозначение*	Цвет пленки эмали	Режим высыхания эмали		Теплостойкость (термоэластичность), ч
			температура сушки, °С	время сушки, ч	
Полупроводящие масляно-битумные	ПХВ-21	Красный	20	2—3	При 100°С 10—15
	ПХВ-23	Серый	20	2—3	При 100°С 12—35
	9000	Черный	20	1—2	При 150°С 25—40
	9001	То же	20	1—2	При 150°С 45—50

* В скобках показаны прежние обозначения эмалей.

** Режим сушки эпоксидных эмалей ступенчатый: сушка первого слоя 1 ч слоя 1 ч при 20°С + 20 *мин* при 50°С + 30 *мин* при 95°С + 1,5 ч при 180°С.

*** Режим сушки эмали КО 918 ступенчатый: сушка первого слоя 1 ч при +12—16 ч при 180°С.

Электрические характеристики при 20 °С		Разбавители	Общая характеристика и области применения
ρ_v, *ом·см*	$E_{пр}$ при 50 *гц*, *кв/мм*		
10^{12}—10^{14}	25—40	Р-4	Пигментированный перхлорированный лак, модифицированный алкидной смолой Пленки эмали обладают высокой стойкостью к воде и минеральным маслам
10^{12}—10^{14}	25—40	Р-4	Пигментированный перхлорвиниловый лак, модифицированный пластификаторами. Эмаль применяется для защиты трубчатых разрядников, металлов и деталей из пластмасс
10^{5}—10^{6}	—	Лаковый керосин, сольвентнафта, бензин	Пигментированный сажей и графитом масляно-битумный лак. Применяется для создания полупроводящих покрытий на частях обмоток, где наблюдается неравномерное электрическое поле
10^{8}—10^{9}	—	То же	То же, но пленки эмали обладают несколько повышенными значениями удельного объемного и поверхностного сопротивления

при 20 °С +20 *мин* при 50 °С + 30 *мин* при 95 °С + 1 *ч* при 180 °С; сушка второго

20 °С + 3 *ч* при 120 °С; сушка второго слоя 1 *ч* при 20 °С + 3 *ч* при 120 °С+

Таблица 11

Основные характеристики электроизоляционных пропиточных компаундов

Марка или обозначение	Основные части компаундов	Температура размягчения, °C	Морозостойкость (не выше), °C	Объемная усадка при охлаждении (не более), %	Электрические характеристики при 20° C			Общая характеристика и область применения
					ρ_v, *ом·см*	$E_{пр}$, *кв/мм*	tgδ при 50 *гц*	
225-Д	Битум ухтинский, канифоль, масло льняное обезвоженное	98—102	—25	8,0—8,5	10^{13}—10^{14}	20—22	0,02—0,03	Термопластичная, водостойкая масса черного цвета. Применяется для пропитки обмоток электрических машин и аппаратов (пропитка при 160° C под давлением 6—8 *ат*)
225-Э	То же, но в другом соотношении	45—55	—30	8,0—8,5	10^{13}—10^{14}	20—22	—	Применяется для разбавления компаунда 225-Д
КГМС-1	Непредельный полиэфир № 1, стирол, перекись бензоила, гидрохинон	250*	—60	6,0—7,0	10^{13}—10^{14}	18—22	0,02—0,04	Термореактивная масса желтого цвета, обладающая хорошей адгезией, высокой механической прочностью и водостойкостью. Применяется для пропитки и заливки трансформаторов и аппаратов, работающих при температуре до 120° C
КГМС-2	Непредельный полиэфир № 2, стирол,	250*	—60	8,0—10,0	10^{13}—10^{14}	18—20	0,02—0,04	То же, но компаунд обладает эластичностью

	перекись бензоила, гидрохинон							
МБК-1	Метакриловый эфир	250*	—50	0,5—1,0	10^{12}—10^{14}	12—15	0,03—0,06	Термореактивная масса применяется для пропитки и заливки обмоток электрических машин и блоков электрических аппаратов
МБК-2	Метакриловый эфир, пластификатор	200*	—60	0,5—1,0	10^{12}—10^{14}	10—15	0,03—0,04	То же, но для получения более эластичной пропитки
МБК-3	Метакриловый эфир, пластификатор	200*	—60	0,5—1,0	10^{13}—10^{14}	10—15	0,03—0,04	То же, но для получения резиноподобной эластичной пропитки или заливочного блока
КП-10	Смесь полиэфиров с полиэфиракрилатами и сиккативом	Не размягчается	—50	—	10^{12}—10^{13}	20—22	0,02—0,04	Термореактивная масса, применяется для пропитки обмоток электрических машин и аппаратов. Обеспечивает высокую цементацию и малое время сушки
КП-18	То же, но в другом соотношении	То же	—50	—	10^{12}—10^{13}	20—22	0,03—0,05	То же, но более стабилен и водостоек
К-43	Состав на основе полиметилфенилсилоксана и линолеата свинца	»	—60	5—8	10^{14}—10^{15}	35—50	0,005—0,008	Применяется для пропитки обмоток электрических машин и аппаратов, работающих при 180° С и в условиях высокой влажности. Режим отвердевания — ступенчатый при 180 и 200° С

§ 12. Электроизоляционные компаунды

Компаундами называются изоляционные составы, жидкие в момент их применения, которые затем отвердевают. Компаунды не содержат растворителей.

По своему назначению компаунды делятся на пропиточные и заливочные. Первые применяют для пропитки обмоток электрических машин и аппаратов, вторые — для заливки полостей в кабельных муфтах, а также в электрических аппаратах и приборах (трансформаторы, дроссели и др.) с целью их герметизации.

Компаунды могут быть термореактивными (неразмягчающимися после своего отвердевания) или термопластичными (размягчающимися при последующих нагревах). К термореактивным относятся компаунды на основе эпоксидных, полиэфирных и некоторых других смол; к термопластичным — компаунды на основе битумов, воскообразных диэлектриков и термопластичных полимеров (полистирол, полиизобутилен и др.). Пропиточные и заливочные компаунды на основе битумов по нагревостойкости относятся к классу А (105° С), а некоторые к классу Y (до 90° С). Наибольшей нагревостойкостью обладают компаунды: эпоксидные и кремнийорганические.

Компаунды МБК изготовляют на основе метакриловых эфиров и применяют как пропиточные и заливочные. Они после отвердевания при 70—100° С (а со специальными отвердителями при 20° С) являются термореактивными веществами, которые могут использоваться в интервале температур от —55 до +105° С.

Компаунды МБК имеют малую объемную усадку (1—2%) и обладают большой пропитывающей способностью. Они химически инертны по отношению к металлам, но реагируют с резиной.

Компаунды КГМС-1 и КГМС-2 в исходном состоянии представляют растворы полиэфиров в мономерном стироле с добавкой отвердителей. В конечном (рабочем) состоянии они представляют собой твердые термореактивные диэлектрики, могущие длительно использоваться в интервале температур от —60 до +120° С (класс нагревостойкости Е). При нагревах до 220—250° С отвердевшие компаунды МБК и КГМС несколько размягчаются с поверхности. Быстрое отвердевание компаундов КГМС происходит при температурах 80—100° С. При 20° С процесс отвердевания этих компаундов протекает медленно. Приготовление исходной пропиточной массы (смесь полиэфира со стиролом и отвердителями) производят при комнатной температуре. Компаунды КГМС вызывают окисление незащищенных медных проводов.

Эпоксидные и эпоксидно-полиэфирные компаунды отличаются малой объемной усадкой (0,5—2,5%). В исходном состоянии они представляют собой смеси эпоксидной смолы с полиэфиром и отвердителями (малеиновый и фталевый ангидриды и другие вещества), а иногда вводятся еще наполнители (пылевидный кварц и др.).

Отвердевание эпоксидно-полиэфирных компаундов может производиться как при повышенных (100—120° С), так и при комнатных температурах. В конечном (рабочем) состоянии эпоксидные и эпоксидно-полиэфирные компаунды представляют собой термореактивные вещества, могущие длительно работать в интервале температур от —50 до +120÷130° С (классы нагревостойкости Е и В).

Все компаунды холодной заливки отличаются малой объемной усадкой и не требуют предварительного разогрева для изготовления исходной заливочной массы. К таким компаундам относятся некото-

рые составы на основе эпоксидных смол, компаунды РГЛ, КХЗ-158 ВЭИ и др. Кремнийорганические компаунды обладают наибольшей нагревостойкостью, но требуют высоких температур (150—200° С) для своего отвердевания. Они применяются для пропитки и заливки обмоток электрических машин и аппаратов, длительно работающих при 180 и 220° С.

Полиуретановые компаунды отличаются наивысшей морозостойкостью (—80° С), но по нагревостойкости они относятся к классу Е (120° С).

В табл. 11 и 12 приведены основные характеристики широко применяемых электроизоляционных компаундов.

§ 13. Непропитанные волокнистые электроизоляционные материалы

К этой группе относятся листовые и рулонные материалы, состоящие из волокон органического и неорганического происхождения. Волокнистые материалы органического происхождения (бумаги, картоны, фибра и ткани) получают из растительных волокон древесины, хлопка и натурального шелка. Нормальная влажность электроизоляционных картонов, бумаги и фибры колеблется от 6 до 10%. Волокнистые органические материалы на основе синтетических волокон (капрон) обладают влажностью от 3 до 5%. Такая же примерно влажность наблюдается у материалов, получаемых на основе неорганических волокон (асбест, стекловолокно). Характерными особенностями неорганических волокнистых материалов являются их негорючесть и высокая нагревостойкость (класс С). Эти ценные свойства в большинстве случаев снижаются при пропитке этих материалов лаками.

Электроизоляционные бумаги получают преимущественно из древесной целлюлозы. Наибольшую пористость имеет микалентная бумага, применяемая в производстве слюдяных лент.

Электрокартон изготавливают из древесной целлюлозы или из смеси хлопчатобумажных волокон и волокон древесной (сульфатной) целлюлозы, взятых в различных соотношениях. Увеличение содержания хлопчатобумажных волокон снижает гигроскопичность и усадку картонов.

Электрокартоны, предназначенные для работы в воздушной среде, имеют более плотную структуру по сравнению с картонами, предназначенными для работы в масле. Картоны толщиной 0,1—0,8 *мм* выпускают в рулонах, а картоны толщиной от 1 *мм* и выше — в листах различных размеров.

У электроизоляционных бумаг и картонов при комнатной температуре и относительной влажности 65% удельное объемное сопротивление составляет $\varrho_v = 10^{13} \div 10^{14}$ *ом · см*. У полупроводящих кабельных бумаг оно значительно меньше: $\varrho_v = 10^5 \div 10^6$ *ом см*.

Фибра представляет собой монолитный материал, получаемый в результате прессования листов бумаги, предварительно обработанных нагретым раствором хлористого цинка и отмытых в воде. Фибра поддается всем видам механической обработки (точение, фрезерование, сверление, нарезание резьбы; штампуется при толщине до 6 *мм*). Листовая фибра поддается формованию после размачивания ее заготовок в горячей воде. Удельное объемное сопротивление фибры

Таблица 11 (продолжение)

Марка или обозначение	Основные части компаундов	Температура размягчения, °C	Морозостойкость (не выше), °C	Объемная усадка при охлаждении (не более), %	Электрические характеристики при 20° C			Общая характеристика и область применения
					ρ_v, *ом · см*	$E_{пр}$, *кв/мм*	tgδ при 50 *гц*	
К-67	Состав на основе полиорганосилоксана с неорганическим наполнителем	Не размягчается	—60	5—6	10^{16}	20—22	0,008—0,010	То же, но с более высокой цементирующей способностью

* Температура, при которой компаунд несколько размягчается с поверхности.

Таблица 12

Основные характеристики электроизоляционных заливочных компаундов

Марка или обозначение	Составные части компаунда	Температура размягчения. °C	Морозостойкость, °C	Объемная усадка при охлаждении, %	Электрические характеристики			Общая характеристика и область применения
					ρ_v, *ом · см*	$E_{пр}$, *кв/мм*	tgδ при 50 *гц*	
МК-45	Канифоль, минеральное масло (автол или цилиндровое)	45—48*	—8	6—7	10^{12}—10^{13}	14—16	—	Применяется для заливки кабельных соединительных и концевых муфт на 35 *кв* и прошпарки концов кабелей на рабочие напряжения до 3 *кв*
МБ-70	Битумы марок БН-V и БН-III	70—73*	—10	8—9	10^{13}—10^{14}	15—18	—	Применяется для заливки соединительных муфт

								и концевых воронок на рабочие напряжения до 10 *кв*, проложенных в земле или установленных в неотапливаемых помещениях (до —10° С)
МБ-90	Битумы марок БН-V и БН-III-У или Г и БН-III	90—92*	—10	8—9	10^{13}—10^{14}	14—16	—	Применяется для заливки соединительных муфт и концевых воронок на рабочие напряжения до 10 *кв*, установленных в отапливаемых помещениях
МБМ-1 (Э-3)	Битумы марок БН-V, БН-III и масло трансформаторное	50—62*	—35	7—8	10^{13}—10^{14}	15—17	—	То же, но в наружных электроустановках с температурой до —35° С
МБМ-2	То же, но в другом соотношении	55—60*	—45	7—8	10^{13}—10^{14}	15—17	—	То же, но в наружных электроустановках с температурой до —45° С
КХЗ-158-ВЭИ	На основе резинатов канифоли и битума	80—82*	—40	0,9—1,1	10^{12}—10^{13}	10—13	0,05—0,08	Эластичная, влагостойкая масса черного цвета с малой объемной усадкой. Получается из двух исходных составов и отвердевает за 2—6 *ч* после смешения. Применяется для заливки кабельных муфт и изоляторов

Таблица 12 (продолжение)

Марка или обозначение	Составные части компаунда	Температура размягчения, °C	Морозостойкость, °C	Объемная усадка при охлаждении, %	Электрические характеристики			Общая характеристика и область применения
					ρ_v, *ом·см*	$E_{пр}$, *кв/мм*	tgδ при 50 *гц*	
К-30К	Полиуретановый компаунд с наполнителем (пылевидный кварц)	Не размягчается	—80	2—3	10^{12}—10^{13}	21—23	0,05—0,08	Эластичная масса, применяемая для заливки различных узлов электрических приборов и аппаратов, работающих при температурах от —80 до +150° C
К-31	То же, но без наполнителя	То же	—80	3—4	10^{13}—10^{14}	27—29	0,03—0,05	То же, но при температурах от —80 до +120° C
ЭК-3	Эпоксидная смола ЭД-6 с отвердителем	150**	—50	1—2	10^{14}—10^{15}	45—47	0,003	Твердая хрупкая масса с высокой клеящей способностью. Применяется при температурах от —50 до +155° C. Отверждение при 120° C
К-168	Эпоксидная смола ЭД-6, полиэфир ИГФ-9 и гексаметилендиамин	Не размягчается 120**	—60	0,5—1,5	10^{12}—10^{13}	25—30	0,02—0,04	То же, но отверждение компаунда происходит при 20° C; стоек к грибковой плесени
К-293	Эпоксидная смола ЭД-6, полиэфир ИГФ-9 и пылевидный кварц, дибутилфталат	150**	—60	1—2	10^{12}—10^{13}	20—25	0,05—0,08	То же, но отвердевание компаунда протекает при 120° C
Виксинт К-18	Кремнийорганический компаунд	150	—60	2—3	10^{13}—10^{14}	15—18	0,01—0,02	Нагревостойкая (до 250° C), водостойкая эластичная масса белого цвета

Т-10	Эпоксикремний-органический компаунд с наполнителем	150	—60	1—2	10^{14}—10^{15}	20—25	0,005	Нагревостойкая (до 220° С) и водостойкая твердая масса с хорошей адгезией к металлам, стеклам и керамике
РГЛ-450	Резорцино-глицеринольняной эфир	70**	—55	7,0—7,5	10^{10}—10^{12}	14—18	0,02—0,06	В отвердевшем состоянии — эластичная, резинообразная масса темно-желтого цвета, стойкая к вибрациям и не растворимая в масле, в органических растворителях и в воде
КЭЦ	Канифоль, этилцеллюлоза, церезин	125*	—60	7—9	10^{14}—10^{15}	20—22	0,005—0,008	Термопластичная масса светло-коричневого цвета, обладающая высокой влагостойкостью. Может применяться до температуры 90—100° С

* Температура каплепадения.
** Теплостойкость по Мартенсу.

Основные характеристики электроизо

Материал	Марка	Толщина, *мкм*	Плотность, *г/см³*	Разрывное усилие (не менее), *кГ*
Бумага конденсаторная	КОН-1	7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 15; 22; 30; 4	1,0 1,17	Разрывная* длина: 8000 *м* 8500 *м*
	КОН-2	5; 6; 7; 8; 10; 12; 15; 22; 30	1,17—1,25	8000—8500 *м*
	Силкон 0,8	12 и 15	0,8	8000 *м*
	Силкон 1	7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 15; 22; 30; 4	1,0 1,17	8000 *м* 8500 *м*
	Силкон 2	5; 6; 7; 8; 10; 12; 15; 22; 30	1,17—1,25	8000—8500 *м*
Бумага кабельная***	К-080 К-120 К-170	80 120 170	0,76	8,5/4**** 13/6 17; 5/8,5
	КМ-120 КМ-170	120 170	0,76	14,5/6,5**** 19,0/9,5
	КВ-030 КВ-045 КВ-080 КВ-120 КВ-170 КВ-240	30 45 80 120 170 240	0,85	1,5/3,4**** 2,3/5,3 4,2/9,0 6,5/14,0 9,0/18,5 10/22
	КВУ-015 КВУ-020 КВУ-030 КВУ-045 КВУ-080 КВУ-120	15 20 30 45 80 120	1,09 1,09 1,10 1,10 1,10 1,10	0,9/2,1**** 1,2/2,8 2,0/4,5 3,0/6,8 5,3/12,0 8,5/17,5

ляционных волокнистых материалов

Воздухопроницаемость, *мл/мин*	Электрические характеристики при 20° С		Общая характеристика и область применения
	tgδ при 50 *гц*	$U_{пр}$, *в*	
3—5 50	0,0014—0,0016 0,0016—0,0018	300—590 240	Выпускается в бобинах шириной от 12 до 750 *мм*. Применяется в бумажных конденсаторах
2—30**	0,0016—0,0018	260—620	То же, но с повышенной плотностью
7	0,0009	390—420	С улучшенными электрическими характеристиками. Применяется в бумажных конденсаторах
3—5 50	0,0010—0,0012 0,0014—0,0015	320—620 270—280	
2—30**	0,0014—0,0015	300—680	То же, но с повышенной плотностью
25	Не нормируется	Не нормируется	Кабельная обыкновенная. Применяется для изоляции жил кабелей напряжением до 35 *кв* включительно
25	То же	—	Кабельная четырехслойная. Область применения та же, что и бумаги К
15 25 25 20 20 25	0,0250	Не нормируется	Кабельная высоковольтная. Применяется для изоляции жил кабелей напряжением от 35 *кв* и выше
5 5 5 5 10 10	0,0270	То же	Кабельная высоковольтная уплотненная. Область применения та же, что и бумаг КВ

Материал	Марка	Толщина, *мкм*	Плотность, *г/см³*	Разрывное усилие (не менее), *кГ*
Бумага кабельная***	КВМ-080 КВМ-120 КВМ-170 КВМ-240	80 120 170 240	0,76	4,0/8,5**** 6,5/14,5 8,5/19,0 10,5/23,0
	КВМУ-080 КВМУ-120	80 120	1,10	5,5/13,0**** 8,5/18,0
Бумага кабельная полупроводящая	КП-045 КП-080 КП-120	45 80 120	0,85	2,0/4,5****
	КПД-080 КПД-120	80 120	0,85	4,0/8,5**** 5,5/12,0
Бумага телефонная	КТ-04 КТ-05	40 50	0,80 0,80	1,5/4,5**** 2,0/6,0
Бумага крепированная	ЭКТ	500	0,23	3,0—3,2 (в продольном направлении)
Картон электроизоляционный (для работы в воздушной среде)	ЭВС	0,20; 0,25; 0,30; 0,35; 0,40 *мм*	1,25	3,5—12 *кГ/мм²*
	ЭВП	0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30 *мм*	1,25	3,5—12 *кГ/мм²*
	ЭВТ	0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30; 0,35; 0,40; 0,50 *мм*	1,15	3,25—12 *кГ/мм²*
	ЭВ	Те же размеры и 0,6; 1,0; 1,25; 1,5; 1,75; 2,0; 2,5; 3,0 *мм*	0,95—1,15	3,25—9,0 *кГ/мм²*

Воздухопроницаемость, мл/мин	Электрические характеристики при 20° С		Общая характеристика и область применения
	tg δ при 50 гц	$U_{пр}$, в	
25 25 20 10	0,0023	—	Кабельная высоковольтная многослойная. Применяется для изоляции жил кабелей напряжением от 110 *кв* и выше
6 6	0,0024	—	То же, но уплотненная. Область применения та же, что и бумаг КВУ
25 25 25	—	—	Полупроводящая бумага с содержанием сажи. Применяется для экранирования жил кабелей
25 25	—	—	То же, но сажа вводится в один слой бумаги. Область применения та же, что и бумаги КП
—	—	—	Применяется для изоляции жил телефонных кабелей. Выпускается в рулонах шириной 500 *мм*
—	—	15 *кв/мм******	Применяется для изоляции отдельных узлов маслонаполненных аппаратов. Ширина рулонов 12, 15, 20, 25, 30, 40 *мм*
— — — —	— — — —	11—12 *кв/мм***** 11—12 *кв/мм***** 12—13 *кв/мм***** 8—11 *кв/мм*****	Картон каландрированный выпускается в листах и в рулонах (ЭВ; ЭВС) или только в рулонах (ЭВП, ЭВТ). Применяется для работы в воздушной среде (каркасы катушек, прокладки и др.) с последующей пропиткой лаками

Материал	Марка	Толщина, *мкм*	Плотность, $г/см^3$	Разрывное усилие (не менее), *кГ*
Картон электроизоляционный для аппаратов с масляным заполнением******	А	2,0; 2,5; 3,0	0,90—1,00	Не менее******* 4,0 $кГ/мм^2$
	Б	1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0	1,00—1,15	5,0 $кГ/мм^2$
	В	2,0; 2,5; 3,0	1,15—1,25	6,0 $кГ/мм^2$
	Г	0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0	1,00—1,20	4,0 $кГ/мм^2$
Фибра листовая	ФТ	От 0,4 до 1,5 (через 0,1 *мм*) 1,7; 2,0; 2,2; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5 От 5 до 20 (через 1 *мм*) 20; 22; 25	1,10—1,20	Вдоль******* 5—7 $кГ/мм^2$ Поперек 4,8—5,5 $кГ/мм^2$
	ФЭ	От 0,6 до 1,7 (через 0,1 *мм*) 2,0; 2,2; 2,5; 3,0		Вдоль******* 7—8 $кГ/мм^2$

* Для конденсаторных бумаг приведены наименьшие величины разрыв под действием собственного веса.

** Большие значения воздухопроницаемости относятся к конденсаторным

*** Кабельная бумага всех марок выпускается в рулонах шириной: 350 маги толщиной 80—240 *мкм* (0,080—0,240 *мм*).

**** Меньшие значения (числитель) разрывных усилий кабельных бумаг бóльшие значения (знаменатель) относятся к образцам вырезанным вдоль полотна

***** Это значения электрической прочности ($E_{пр}$).

****** Картон марок А, Б, В выпускается в листах размером: от 1000× Для картонов марок А, Б, В и Г приведены испытательные напряжения, которые напряжения относятся к образцам бумаги большей толщины.

******* Для картонов и фибры приведены значения предела прочности образ

Воздухопроницаемость, *мл/мин*	Электрические характеристики при 20° C		Общая характеристика и область применения
	tg δ при 50 *гц*	$U_{пр}$, *в*	
—	—	40—50	Эластичный гибкий картон применяется в аппаратах напряжением до 750 *кв* включительно
—	—	31—85	То же, но применяется в аппаратах напряжением до 220 *кв*
—	—	55—70	Картон твердый с малой сжимаемостью. Применяется в продольной изоляции трансформаторов и др. Картон с повышенным сопротивлением расслаиванию
—	—	19—57	
—		2÷4 *кв/мм*	Фибра техническая с содержанием хлористого цинка 0,2%. Применяется для конструкционных деталей в электрических машинах и аппаратах
—			
—		3,5÷7,5 *кв/мм*	Фибра электроизоляционная применяется для изготовления пазовых клиньев в машинах низкого напряжения

ной длины (*м*), т. е. длины, при которой наступает разрыв бумаги данной толщины

бумагам меньшей толщины (4—5 *мкм*).
мм — бумаги толщиной 15—45 *мкм* (0,015÷0,045 *мм*); 500, 650 и 750 *мм* — бу-

относятся к образцам, вырезанным в поперечном направлении полотна бумаги,
бумаги.

1000 *мм* до 3000×4000 *мм*. Картон марки *Г* от 850×950 *мм* до 1850×3850 *мм*.
прикладываются к образцам картона в течение одной минуты. Бо́льшие значения

цов материала при растяжении.

ФТ равно $10^7 \div 10^8$ *ом·см*, а фибры ФЭ: $10^9 \div 10^{10}$ *ом·см* (при 20° С и относительной влажности 65%).

Летероид — тонкая (0,1—0,5 *мм*) листовая и рулонная фибра, используемая для изготовления различного вида электроизоляционных прокладок, шайб и фасонных изделий. У листовой фибры и у летероида удельное объемное сопротивление равно 10^8—10^{10} *ом·см*, влажность — 8—10%. У фибры предел прочности при статическом изгибе равен в среднем 100 *кГ/см²*.

Асбестовые бумаги, картоны и ленты изготовляют из волокон хризотилового асбеста ($3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$), обладающего наибольшей эластичностью и способностью скручиваться в нити. Нагревостойкость волокон хризотилового асбеста 550—600° С; плавление волокон асбеста происходит при 1500° С. Асбестовые волокна не имеют внутренних капилляров, поэтому их гигроскопичность меньше, чем у растительных волокон.

Вследствие того, что в асбесте содержится около 3—4% окислов железа: FeO; Fe_2O_3 и др., а также адсорбционной воды (0,95%), электрические характеристики асбестовых материалов относительно невысоки ($\varrho_v = 10^8 \div 10^9$ *ом·см*).

У железистого асбеста, содержащего до 8% окислов железа, удельное объемное сопротивление $\varrho_v = 10^5 \div 10^6$ *ом·см*.

Из нитей железистого асбеста изготовляют полупроводящие ленты, которые применяют для выравнивания электрического поля на поверхности обмоток электрических машин высокого напряжения.

Из нитей хризотилового асбеста получают нагревостойкие электроизоляционные ленты. Для обеспечения высокой прочности при разрыве (140—145 *кГ/см²*) в асбестовые нити вводят хлопчатобумажные волокна.

Из волокон хризотилового асбеста изготовляют асбестовую электроизоляционную бумагу толщиной от 0,2 до 1,0 *мм*.

Асбестовый картон изготовляют из волокон хризотилового асбеста. В электрической изоляции этот материал применяют преимущественно в пропитанном (лаками или смолами) виде. Асбестовый картон изготовляют толщиной от 2 до 10 *мм*.

Все асбестовые материалы стойки к щелочам, но легко разрушаются под действием кислот.

Электроизоляционные стеклянные ткани и ленты изготовляют из стеклянных нитей, получаемых из бесщелочных (содержание щелочей не более 2%) или малощелочных (содержание щелочей не более 6%) стекол. Диаметр стеклянных нитей (из непрерывного или штапельного волокна) лежит в пределах 3—9 *мкм*.

Преимущество стеклянных волокон перед растительными и асбестовыми состоит в их гладкой поверхности, понижающей поглощение влаги из воздуха. Гигроскопичность стеклянных тканей и лент находится в пределах 2—4%.

Нагревостойкость стеклянных тканей и лент выше асбестовых.

В табл. 13 приведены основные характеристики электроизоляционных бумаг, картонов, фибры и лент, широко применяемых в электромашино- и электроаппаратостроении.

§ 14. Электроизоляционные лакированные ткани (лакоткани)

Лакоткани представляют собой гибкие материалы, состоящие из ткани, пропитанной лаком или каким-либо электроизоляционным

составом. Пропиточный лак или состав после отвердевания образует гибкую пленку, которая обеспечивает хорошие электроизоляционные свойства лакоткани. В зависимости от тканевой основы лакоткани делятся на хлопчатобумажные, шелковые, капроновые и стеклянные (стеклолакоткани). В качестве пропиточных составов для лакотканей применяют масляные, масляно-битумные, эскапоновые и кремнийорганические лаки, а также кремнийорганические эмали (пигментированные лаки), растворы кремнийорганических каучуков и другие пропиточные составы. Наибольшей растяжимостью и гибкостью обладают шелковые и капроновые лакоткани. Они могут работать при нагреве не выше 105° С (кл. А). К этому же классу нагревостойкости относятся все хлопчатобумажные лакоткани. Стеклянные ткани позволяют повысить нагревостойкость и влагостойкость лакотканей. Стеклолакоткани на масляно-битумном (ЛСБ) и на эскапоновом (ЛСЭ) лаках могут работать до температуры 130° С, а стеклоткани на кремнийорганических составах могут длительно работать при температурах 180° С. Последние отличаются также повышенной влагостойкостью.

Основными областями применения лакотканей являются: электрические машины, аппараты и приборы низкого напряжения. Лакоткани применяют для гибкой витковой и пазовой изоляции, а также в качестве различных электроизоляционных прокладок. В маслонаполненных трансформаторах применяют маслостойкие лакоткани ЛХСМ и ЛСММ. Для изолирования лобовых частей обмоток и других токоведущих элементов неправильной формы применяют лакотканные ленты, нарезанные под углом 45° по отношению к основе лакоткани. Основные характеристики лакотканей приведены в табл. 14 и 15.

Не вошедшие в таблицы характеристики, являющиеся общими для многих лакотканей, находятся на следующем уровне.

Значения коэффициента теплопроводности лакотканей лежат в пределах:

0,0012—0,0025 *вт/см·град* — для хлопчатобумажных и шелковых лакотканей;

0,0020—0,0026 *вт/см·град* — для стеклолакотканей.

Значения $\operatorname{tg} \delta$ колеблются в следующих пределах:

0,06—0,105 — для хлопчатобумажных лакотканей;

0,03—0,08 — для шелковых лакотканей;

0,02—0,06 — для стеклолакотканей на масляных, битумно-масляных и эскапоновых лаках;

0,005—0,012 — для стеклолакотканей на кремнийорганических лаках.

Плотность лакотканей находится в пределах:

0,9—1,0 *г/см*³ — шелковые лакоткани;

1,0—1,2 *г/см*³ — хлопчатобумажные лакоткани;

1,25 — 1,35 *г/см*³ — стеклянные лакоткани.

Лакоткани выпускают в рулонах шириной:

700—1000 *мм* — шелковые и хлопчатобумажные;

680—1015 *мм* — стеклянные.

Длина полотен лакотканей в рулонах 40—100 *м*. Допуски по толщине составляют: $\pm$0,01 *мм* для толщин 0,04—0,10 *мм* и $\pm$0,02 *мм* для 0,15—0,30 *мм*. Стеклолента липкая электроизоляционная выпускается в роликах диаметром 150—175 *мм* и шириной 10, 15, 20, 25 и 30 *мм*. Этот материал применяется для изоляции проводов и обмоток, длительно работающих при температурах до 180° С.

Таблица 14

Физико-механические характеристики электроизоляционных лакотканей

Классификация по основе	Марка лакоткани	Применяемый пропиточный состав	Цвет лакоткани	Номинальная толщина, *мм*	Предел прочности при растяжении, *кГ/мм²*		
					по основе	по утку	по диагонали
Хлопчатобумажные	ЛХМ-105	Лак масляный	Светло-желтый	0,15; 0,17; 0,20; 0,24; 0,30	2,4—3,2	1,6—2,2	1,5—1,8
	ЛХМС-105	То же	То же	0,17; 0,20			
	ЛХММ-105	»	»	0,17; 0,20; 0,24			
	ЛХБ-105	Лак маслянобитумный	Черный	0,17; 0,20; 0,24			
Шелковые	ЛШМ-105	Лак масляный	Светло-желтый	0,08; 0,10; 0,12; 0,15	1,6—2,0	1,2—1,5	1,2—1,5
	ЛШМС-105	То же	То же	0,04; 0,05; 0,06; 0,10; 0,12; 0,15			
Капроновые	ЛКМ-105	»	»	0,10; 0,12; 0,15	1,6—2,2	1,2—1,6	1,2—1,5
	ЛКМС-105	»	»	0,10; 0,12; 0,15			

Стеклянные	ЛСБ-120/130 (ЛСТЧ)*	Лак масляно-битумно-глифталевый	Черный	0,11; 0,13; 0,15; 0,17; 0,20; 0,24	4—6	6	22
	ЛСК-155/180 (ЛСК-7)*	Кремнийорганический лак	Светло-желтый	0,11; 0,15; 0,20	4—6	—	—
	ЛСКЛ-155 (липкая)	То же	Белый	0,12; 0,15	4—6	—	—
	ЛСЭ-105/130	Эскапоновый лак	Коричневый	0,13; 0,15; 0,17; 0,20; 0,24	4—6	—	—
	ЛСММ-105/120	Лак масляный	Желтый	0,17; 0,20; 0,24	4—6	—	—
	ЛСМ-105/120	Лак масляный	Светло-желтый	0,15; 0,17; 0,20; 0,24	4—6	—	—
	ЛСКР-180 (РСЛК-1)*	Раствор каучука СКТ	Белый	0,11; 0,13; 0,15; 0,20	4—6	—	—
	ЛСЛ-105/120	Раствор латексов	То же	0,15; 0,17; 0,20; 0,24	2,4—3,0	1,6—2,0	1,5—1,8
	ЛСК-5	Полупроводящая эмаль	Серый	0,12; 0,15; 0,20	4—6	—	—

* В скобках приведены прежние марки лакотканей

Таблица 15

Основные электрические характеристики лакотканей

Классификация	Марка лакоткани	Удельное сопротивление ρ_v, *ом·см*		Электрическая прочность $E_{пр}$, *кв/мм*			Характерные свойства
		при 20°C	после пребывания 24 *ч* во влажной атмосфере	до перегиба при 20°C	после перегиба при 20°C	после 24 *ч* пребывания во влажной атмосфере	
Хлопчатобумажные	ЛХМ-105	10^{13}—10^{14}	10^{9}—10^{10}	17—30	10—20	7—12	Хлопчатобумажная с нормальными характеристиками
	ЛХМС-105	10^{13}—10^{14}	10^{9}—10^{10}	18—32	12—22	8—14	То же, с улучшенными характеристиками
	ЛХММ-105	10^{13}—10^{14}	10^{9}—10^{10}	18—35	13—21	6—14	То же, но маслостойкая
	ЛХБ-105	10^{13}—10^{14}	10^{10}—10^{11}	15—34	11—24	8—12	То же, но влагостойкая
Шелковые	ЛШМ-105	10^{13}—10^{14}	10^{9}—10^{10}	18—44	17—37	11—19	Шелковая на масляном лаке с улучшенными электрическими характеристиками
	ЛШМС-105	10^{13}—10^{14}	10^{9}—10^{10}	18—51	20—42	13—24	То же, но малой толщины
Капроновые	ЛКМ-105	10^{13}—10^{14}	10^{9}—10^{10}	20—40	17—37	11—19	Капроновая лакоткань на масляном лаке с повышенной эластичностью, но с большей усадкой при нагревании

	ЛКМС-105	10^{13}—10^{14}	10^{9}—10^{10}	27—52	20—42	13—24	То же, но малой толщины
Стеклянные	ЛСБ-120/130	10^{14}—10^{15}	10^{12}—10^{13}	19—40	17—32	10—15	Стеклоткань на масляно-битумно-алкидном лаке, влагостойкая
	ЛСК-155/180	10^{14}—10^{15}	10^{13}—10^{14}	28—41	9—20	9—20	Нагревостойкая стеклоткань на кремнийорганическом лаке
	ЛСКЛ-155	10^{11}—10^{12}	10^{9}—10^{10}	5—6	—	—	Стеклоткань липкая на кремнийорганическом составе
	ЛСЭ-105/130	10^{14}—10^{15}	10^{11}—10^{12}	15—33	11,5—28	4—13	Стеклоткань на эскапоновом лаке
	ЛСММ-105/120	10^{13}—10^{14}	10^{11}—10^{12}	18—36	13—22	6—15	Стеклолакоткань на масляном лаке маслостойкая
	ЛСМ-105/120	10^{13}	10^{11}	12,5—30	13—21	7—15	То же, но не маслостойкая
	ЛСКР-180	10^{14}—10^{15}	10^{12}—10^{13}	11—25	11—25	5,5—13	Стеклолакоткань на растворе кремнийорганического каучука; нагревостойкая
	ЛСЛ-105/120	10^{14}	10^{10}—10^{11}	10—19	—	—	Латексная стеклолакоткань
	ЛСК-5	10^{3}—10^{5}	—	—	—	—	Полупроводящая стеклолакоткань с малым удельным сопротивлением. Применяется для выравнивания электрического поля в электрических машинах и аппаратах

§ 15. Пластические массы

Пластическими массами (пластмассами) называются твердые материалы, которые на определенной стадии изготовления приобретают пластические свойства и в этом состоянии из них могут быть получены (методом прессования или литья) изделия заданной формы.

Пластические массы представляют собой композиционные материалы, состоящие из какого-либо связующего вещества (высокополимерное вещество), наполнителей, красителей, пластифицирующих и других веществ. Отдельные виды пластмасс могут быть высокополимерными веществами, не содержащими наполнителей. Применение наполнителей позволяет повысить механическую прочность пластмасс и одновременно уменьшить объемную усадку изготовляемых пластмассовых изделий. Волокнистые наполнители (асбестовое и стеклянное волокна, хлопковые очесы и др.) значительно увеличивают механическую прочность пластмасс. Неорганические наполнители (слюда, кварцевая мука, стеклянное волокно и др.) повышают коэффициент теплопроводности пластмасс и увеличивают их нагревостойкость. Содержание в пластмассах наполнителей находится в пределах от 40 до 70%. Пластификаторы вводятся в пластмассы для снижения их хрупкости. Тип применяемого связующего, наполнителей и других компонентов пластмасс определяют текучесть, скорость прессования, водопоглощение, механические и электрические характеристики пластмасс.

Исходными материалами для получения пластмассовых изделий являются прессовочные порошки (пресс-порошки) и прессовочные материалы (пресс-материалы). Последние представляют собой связующие и другие компоненты с волокнистыми наполнителями органического (ткань, бумага, волокна и др.) и неорганического (асбест и др.) происхождения.

По отношению к нагреву различают термореактивные и термопластичные пластмассы. Первые в процессе горячего прессования или в процессе последующего нагрева (после прессования) становятся неплавкими и нерастворимыми.

Термопластичные пластмассы (термопласты) после нагрева в процессе прессования способны снова размягчаться при последующем нагревании. По роду наполнителей различают пластмассы с порошкообразными (сыпучими), волокнистыми, листовыми, газовоздушными наполнителями и без наполнителей. Основной технологической характеристикой пресс-порошков и пресс-материалов является их текучесть [1] в пресс-форме. Для большинства пластмасс с порошкообразными наполнителями текучесть равна 90—190 *мм*, у пластмасс с волокнистыми она ниже (40—110 *мм*). Плотность пластмасс колеблется в пределах: $1,2 \div 1,9$ *г/см*^{3}. Наибольшую механическую прочность имеют пластмассы с волокнистыми наполнителями (стеклянные, хлопковые и др. волокна). Наиболее высокой нагревостойкостью и искростойкостью обладают пластмассы на основе кремнийорганических смол и минеральных наполнителей (молотый кварц, стеклянные волокна и др.). Эти пластмассы отличаются также стойкостью к грибковой плесени. В табл. 16 приведены основные характеристики пластмасс, широко применяемых в электротехнике.

---

[1] Об определении текучести пластмасс см. Н. Г. Дроздов, Н. В. Никулин «Электроматериаловедение», изд-во «Высшая школа», 1968 г.

§ 16. Слоистые электроизоляционные пластмассы

Слоистые пластмассы — материалы, состоящие из чередующихся слоев листового наполнителя (бумага или ткань) и связующего.

Важнейшими из слоистых электроизоляционных пластмасс являются гетинакс, текстолит и стеклотекстолит. Они состоят из листовых наполнителей (бумага, ткань и др.), располагающихся слоями, а в качестве связующего вещества применяются бакелитовые, эпоксидные, кремнийорганические смолы и их композиции. С целью повышения нагревостойкости бакелитовых смол в некоторые из них вводят кремнийорганические вещества, а для повышения клеящей способности в бакелитовые и кремнийорганические смолы вводят эпоксидные смолы.

В качестве наполнителей применяют специальные сорта пропиточной бумаги (в гетинаксе), хлопчатобумажные ткани (в текстолите) и бесщелочные стеклянные ткани (в стеклотекстолите). Эти волокнистые листовые наполнители вначале пропитывают бакелитовыми или кремнийорганическими (стеклянные ткани) лаками, сушат и режут на листы определенных размеров. Пропитанные листовые наполнители собирают в пакеты заданной толщины и подвергают горячему прессованию в многоэтажных гидравлических прессах. В процессе прессования отдельные слои листовых наполнителей прочно соединяются друг с другом с помощью смол, которые при этом переводятся в неплавкое и нерастворимое состояние.

Слоистые электроизоляционные материалы выпускают в виде листов и плит различной толщины и назначения.

Гетинакс и текстолит на бакелитовых смолах отличаются высокой стойкостью к минеральным маслам и поэтому широко применяются в маслонаполненных электрических аппаратах и трансформаторах. Все слоистые электроизоляционные материалы на бакелитовых смолах имеют низкую искростойкость, т. е. под действием электрических искр на поверхности этих материалов создаются токопроводящие дорожки.

По нагревостойкости гетинакс и текстолит относятся к классу А, т. е. могут использоваться при температурах, не превышающих 105° С.

Стеклотекстолиты на бакелитовых смолах по нагревостойкости относятся к классу В (130° С), стеклотекстолиты на эпоксидно-фенольном связующем — к классу *F* (155° С), а стеклотекстолиты на кремнийорганических связующих — к классу Н и С (180 и 200° С).

Наиболее дешевым слоистым материалом является древеснослоистая пластмасса (дельта-древесина). Она получается горячим прессованием тонких (0,4—0,8 *мм*) листов березового шпона, предварительно пропитанных бакелитовыми смолами.

Электрические характеристики электроизоляционных сортов дельта-древесины одинаковы с электрическими характеристиками некоторых сортов гетинакса, но она обладает пониженной нагревостойкостью (90° С), меньшим сопротивлением раскалыванию и большим водопоглощением.

Дельта-древесина применяется для изготовления силовых конструкционных и электроизоляционных деталей, работающих в масле (тяги в масляных выключателях, прокладки в маслонаполненной аппаратуре и др.). Для работы на открытом воздухе изделия из дельта-древесины требуют тщательной защиты от влаги водостойкими лаками и эмалями.

Основные характеристики

Марка или обозначение	Предел прочности		Удельная ударная вязкость, *кГ·см/см²*	Теплостойкость по Мартенсу (не менее), °С	Водопоглощаемость, %
	при растяжении, *кГ/см²*	при статическом изгибе, *кГ/см²*			
К-15-2 К-17-2 К-18-2 К-19-2 К-20-2 К-118-2 К-119-2	300—400	600—700	5—6	125	0,2—0,3
ФКП-1 ФКПМ-10 ФКПМ-15Т	250—350	450—550	8—9	125	0,08—0,12
К-21-22 К-211-2 К-214-2 К-214-22 К-220-21	300—550	600—650	4,5—5,5	120—130	0,08—0,11
К-211-3 К-211-34 К-214-43 К-214-43Т К-78-51	300—500	550—600	3,5—5,0	130—150	0,03—0,08
ПК-9 СВК-2к	—	600—900 1000	60—80 120	300 300	0,01--0,02

Таблица 16

электроизоляционных пластмасс

Электрические характеристики при 20° С				Общая характеристика и область применения
удельное объемное сопротивление, *ом·см*	диэлектрическая проницаемость	тангенс угла диэлектрических потерь при 50 *гц*	электрическая прочность, *кв/мм*	
10^{11}	5—6	0,08—0,15	11—12	Материалы на основе новолачных смол с наполнителем — древесной мукой Применяются для изготовления конструкционных и электроизоляционных деталей в электрических аппаратах и приборах низкого напряжения
10^{11}—10^{12}	7—8	0,05—0,09	10—13	Материалы на основе новолачных смол, совмещенных с каучуками и с органическими и минеральными наполнителями. Применяются в электрических аппаратах и приборах низкого напряжения
10^{12}—10^{13}	6—8	0,06—0,08	13—15	Материалы на основе резольных смол с древесной мукой. Применяются для изготовления электроизоляционных деталей в электрических аппаратах и приборах низкого напряжения
10^{12}—10^{14}	6—7	0,02—0,08	14—16	Материалы на основе резольных (феноланилиновых смол) с минеральными наполнителями. Применяются для изготовления электроизоляционных деталей в электрических аппаратах и приборах
10^{15} 10^{14}	4—5 4—5	0,03—0,05 0,008—0,009	5—6 6—7	На основе кремнийорганического связующего и кремнеземного волокнистого наполнителя. Применяются для изготовления нагревостойких, механически прочных электроизоляционных деталей

Марка или обозначение	Предел прочности при растяжении, кГ/см²	Предел прочности при статическом изгибе, кГ/см²	Удельная ударная вязкость, кГ·см/см²	Теплостойкость по Мартенсу (не менее), ° С	Водопоглощаемость, %
КФ-10	—	200—250	8—10	250	0,02
КМС-9	—	400—450	12—25	250	0,05
РТМ-6 РТМ-6М ТП-110	300	400—500	10—25	250—300	0,01
МКФ-20	—	400—450	7—9	190	0,01
К-114-35 В-4-70	400—450	850—950	5—6	125—140	0,08—0,15
К-17-23 К-17-36 К-18-23 К-18-36 К-17-81 К-18-81	250—350	550—600	4,5—6,0	125—130	0,03—0,06
К-18-48	—	550—600	4,5—5,0	140—145	0,08—0,10
Волокнит	300—350	800—850	9—10	140	0,3—0,5

Электрические характеристики при 20°C				Общая характеристика и область применения
удельное объемное сопротивление, *ом·см*	диэлектрическая проницаемость	тангенс угла диэлектрических потерь при 50 *гц*	электрическая прочность, *кв/мм*	
10^{14}—10^{15}	5	0,005	13—14	То же, но материал обладает повышенной текучестью при прессовании
10^{13}—10^{14}	5	0,01	4—6	То же, но материал обладает повышенными механическими характеристиками
10^{13}—10^{14}	4—5	0,01—0,02	3—5	То же, но с пониженным водопоглощением
10^{14}—10^{15}	4—5	0,02	3,5—5	Материалы на основе кремнийорганической и меламиновой смол и минерального наполнителя. Отличается высокой дугостойкостью и тропикостойкостью
10^{13}—10^{14}	4—5	0,01—0,03	16—18	Материалы на основе новолачных смол, модифицированных полиамидами с минеральными наполнителями. Применяются в электрических аппаратах и приборах
10^{12}—10^{13}	5—6	0,03—0,06	13—14	Материалы на основе новолачных смол, модифицированных поливинилхлоридом с минеральными наполнителями. Применяются в электрических аппаратах и приборах
10^{11}—10^{12}	6—7	0,05—0,09	15—16	Материал на основе новолачной смолы с древесным и минеральным наполнителями с повышенной теплостойкостью
10^{9}—10^{10}	6—7	0,08—0,2	4—5	Материал на основе резольной смолы, наполнитель — хлопковые волокна. Повышенная прочность при ударном и статическом изгибе

Марка или обозначение	Предел прочности		Удельная ударная вязкость, $кГ \cdot см/см^2$	Теплостойкость по Мартенсу (не менее), ° С	Водопоглощаемость, %
	при растяжении, $кГ/см^2$	при статическом изгибе, $кГ/см^2$			
К-6 К-6У	200—250	700—800	20—22	200	0,5—0,8
К-15-56 К-18-56 К-119-56	300—320	450—500	3,5—4,0	140	0,5—0,8
Изодин	300—400	600—650	8—9	120—130	0,3
Стекловолокнит	1000—1400	750—900	18—24	140—160	0,3—0,5
ФАС	2300—2700	1700—2000	80—120	250	0,2
АГ-4В АГ-4С	800 5000	1200 2500	30—40 150—160	280 280	0,1—0,2 0,1—0,2
ВЭИ-11	200—300	350—380	2—3,0	150	0,8

Таблица 16 (продолжение)

Электрические характеристики при 20° С				Общая характеристика и область применения
удельное объемное сопротивление, *ом·см*	диэлектрическая проницаемость	тангенс угла диэлектрических потерь при 50 *гц*	электрическая прочность, *кв/мм*	
10^{10}—10^{11}	7—8	0,08—0,3	1,5—2,0	То же, но с асбестовыми волокнами. Применяется для ударопрочных и теплостойких деталей электрических машин и аппаратов низкого напряжения
10^{10}—10^{11}	7—8	—	8—9	Материал на основе новолачной смолы с древесным и микроасбестовым наполнителем. Пластмассы обладают повышенной текучестью
10^{9}—10^{10}	6—7	0,3—0,5	7—8	Материал на основе резольной смолы и бумажной крошки. Малая стоимость. Применяется в электроизоляционных деталях низкого напряжения
10^{10}—10^{11}	7—8	0,06—0,09	4—5	Материал на основе резольной смолы и стекловолокна. Применяется для изготовления электроизоляционных деталей с повышенной механической прочностью
10^{12}—10^{13}	6—8	0,01—0,02	10—17	То же, но материал имеет улучшенные механические и электрические характеристики
10^{12}—10^{13} 10^{12}—10^{13}	8 8	0,05 0,05	13—14 13—15	Материалы на основе модифицированной резольной смолы; наполнитель: спутанное стеклянное волокно (АГ-4С) или стеклянные ленты (АГ-4В). Материалы обладают повышенной нагревостойкостью, тропикостойкостью и малой объемной усадкой
10^{10}—10^{11}	—	0,1—0,2	3—4,5	Дугостойкая пластмасса на основе меламино-мочевино-формальдегидной смолы с асбестовыми наполнителями

Марка или обозначение	Предел прочности		Удельная ударная вязкость, $кГ \cdot см/см^2$	Теплостойкость по Мартенсу (не менее), ° С	Водопоглощаемость, %
	при растяжении, $кГ/см^2$	при статическом изгибе, $кГ/см^2$			
ВЭИ-12	400—600	450—550	10—12	160	0,5
Асбодин	350—400	600—800	10—13	200—270	0,5—0,7
Электронит	140—180	—	—	—	3—5
КМК-18	—	350	4,5	250	0,05

Асбестотекстолит представляет собой слоистую электроизоляционную пластмассу, получаемую горячим прессованием листов асбестовой ткани, предварительно пропитанных бакелитовой смолой. Асбестотекстолит выпускается в виде фасонных изделий (распорки и клинья для роторов турбогенераторов, небольшие панели и др.), а также в виде листов и плит толщиной от 6 до 60 *мм*. Механическая и электрическая прочность асбестотекстолита ниже, чем у гетинакса и текстолита, но асбестотекстолит обладает более высокой нагревостойкостью. Этот материал может быть использован при температурах до 130° С (класс нагревостойкости В).

Асбогетинакс — слоистая пластмасса, получаемая горячим прессованием листов асбестовой бумаги, содержащей 20% сульфатной целлюлозы (асбогетинакс марки А-1) или асбестовой бумаги без целлюлозы (асбогетинакс марки А-2), пропитанных эпоксидно- фено-

Таблица 16 (продолжение)

Электрические характеристики при 20° С				Общая характеристика и область применения
удельное объемное сопротивление, *ом·см*	диэлектрическая проницаемость	тангенс угла диэлектрических потерь при 50 *гц*	электрическая прочность, *кв/мм*	
				Пластмасса ВЭИ-11 допускает холодное прессование
10^{11}—10^{12}	—	0,06—0,12	4,5—5	Дугостойкая пластмасса на основе меламино-мочевино-формальдегидной смолы с асбестовыми наполнителями
10^{12}—10^{13}	—	0,1—0,2	5—6	Дугостойкий материал на основе синтетического каучука, железного сурика и асбеста
10^{9}—10^{11}	—	—	7—8	Гибкий листовой материал на основе синтетического каучука и асбестового волокна. Применяется для подбандажной и пазовой изоляции в электрических машинах низкого напряжения
10^{12}—10^{13}	6	0,04	6—7	Материал на основе кремнийорганической смолы и стеклянного волокна. Применяется для изготовления дугостойких и водостойких электроизоляционных деталей

лоформальдегидным связующим. По нагревостойкости асбогетинаксы относятся к классу В (130° С).

Из рассмотренных слоистых электроизоляционных материалов наибольшей нагревостойкостью, лучшими электрическими и механическими характеристиками, повышенной влагостойкостью и стойкостью к грибковой плесени обладают стеклотекстолиты на кремнийорганических и эпоксидных связующих. При механической обработке стеклотекстолитов встречаются некоторые трудности, так как стеклянное волокно является абразивом для стального инструмента. Для механической обработки стеклотекстолитов рекомендуется применять инструмент из быстрорежущей стали или из твердых сплавов.

В табл. 17—19 приводятся размеры листов, физико-механические и электрические характеристики слоистых пластмасс.

Таблица 17

Размеры листов и области применения слоистых изоляционных пластмасс

Материал	Марка	Толщина листов, *мм*	Размер листов, *мм*	Общая характеристика и область применения
Гетинакс	I (В, Вс)	0,20; 0,25; 0,30; 0,35; 0,40; 0,50; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 1,9; 2,0; 2,3; 2,5; 2,8; 3,0; 3,3; 3,5; 3,8; 4,0; 4,3; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,3; 6,5; 7,0; 7,3; 7,5; 8,0; 8,5; 9,0; 9,5; 10,0; 10,5; 11,0; 11,5; 12,0; 12,5; 13,0; 13,5; 14,0; 14,5; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 23; 24; 25; 26; 27; 28; 29; 30; 31; 32; 33; 34; 35; 36; 37; 38; 39; 40; 41; 42; 43; 44; 45; 46; 47; 48; 49; 50	550×700 650×930 700×930 930×1030 980×1430 и др.	С малыми допусками по толщине. Величина коробления нормируется. Предназначается для работы на воздухе при нормальных климатических условиях (относительная влажность 65±15%, температура 20±5° С) или в трансформаторном масле при напряжении до 1000 *в* и частоте 50 *гц*, в интервале температур от —65° С до +105° С
	II (Д)	0,4; 0,5; 0,6; 0,7; все остальные размеры те же, что и у гетинакса марки I	Те же размеры	То же, но с большими допусками по толщине. Величина коробления не нормируется. Область применения та же, что и гетинакса марки I
	III (Г)	5,0; 5,5; 6,0; 6,3; 6,5; все остальные размеры те же, что и у гетинакса марки I	Те же размеры	С малыми допусками по толщине. Величина коробления нормируется, как у гетинакса марки I. Предназначается для работы в условиях повышенной влажности (относительная влажность до 95% и температура 20±5° С) при напряжении до 1000 *в* и частоте 50 *гц*
	IV (ТР)	2,0; 2,3; 2,5; 2,8; 3,0; все остальные размеры те же, что и у гетинакса марки I	Те же размеры	То же Предназначается для работы на воздухе в тропических условиях (относительная влажность 95% и температура 35°С)

				или в трансформаторном масле при напряжении до 1000 *в* и частоте 50 *гц*
	V—1 V—2 (А; Б; ГЭФ-А; ЭТ)	5,0; 5,5; 6,0; 6,3; 6,5; 7,0; все остальные размеры те же, что и у гетинакса марки I	Те же размеры	С малыми допусками по толщине. Величина коробления нормируется, как у гетинакса марки I. Предназначается для работы на воздухе при нормальных климатических условиях или в трансформаторном масле в устройствах с напряжением выше 1000 *в* и частоте 50 *гц*
Гетинакс	VI (Бв)	0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 1,9; 2,0; 2,3; 2,5; 2,8; 3,0; 3,3; 3,5; 3,8	Те же размеры	То же Предназначается для работы на воздухе при нормальных климатических условиях на частотах до 10^6 *гц* и напряжении до 1000 *в*
	VII (Ав; Вв; Дв; Гв)	Выпускается той же толщины, что гетинакс марки VI	Те же размеры	То же но с повышенными электрическими характеристиками и с пониженной стойкостью к кратковременным нагревам. Область применения та же, что и гетинакса марки VI
	VIII (Эв; Эг)	1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 1,9; 2,0; 2,3; 2,5; 2,8; 3,0; 3,3; 3,5; 3,8	Те же размеры	То же Предназначается для работы на воздухе при нормальных климатических условиях на частотах до 10^6 *гц* и напряжении до 1000 *в*, а также в качестве оснований для печатных схем, изготовляемых методом электрохимического осаждения меди
Асбогетинакс	А-1 А-2	2,0; 2,5; 5,0; 10,0; до 20 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,5; 1,6; 1,8; 2,0; 2,3; 2,5; 2,8; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0; 8,0; 9,0; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 30	Не менее 800×1350 Ширина листов от 450 до 980 Длина листов от 600 до 1480	Слоистая пластмасса на основе бакелитовой смолы и асбестовой бумаги. Предназначается для работы на воздухе при нормальных климатических условиях и при повышенной влажности

Таблица 17 (продолжение)

Материал	Марка	Толщина листов, *мм*	Размер листов, *мм*	Общая характеристика и область применения
				воздуха — в электрических машинах и аппаратах при напряжениях до 1000 *в* и частоте 50 *гц*
Дельта-древесина	ДСП-В-Э	1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,5; 6; 7; 8; 9; 10; 12; 15÷60 (через каждые 5 *мм*)	Ширина 800; 900; 1000; 1200 *мм* Длина 700; 1100; 1500; 4800; 5600 *мм*	Древеснослоистый материал из листов лущеного березового шпона, склеенных смолой резольного типа при термической обработке под высоким давлением. Область применения: электрические маслонаполненные аппараты низкого и высокого напряжения. Для работы на воздухе требует защиты от влаги лаками и эмалями
	ДСП-Б-Э	От 15 до 60 (через каждые 5 *мм*)	Те же размеры	То же, но с другим расположением слоев шпона, обеспечивающим повышенную механическую прочность. Область применения та же, что ДСП-В-Э
Текстолит	А	0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,2; 1,4; 1,5; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,5; 2,8; 3,0; 3,5; 3,8; 4,0; 4,3; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0; 7,5; 8,0; 8,5; 9,0; 9,5; 10,0; 10,5; 11,0; 11,5; 12,0; 12,5; 13,0; 13,5; 14,0; 14,5; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 24; 25; 26; 28; 30; 32; 33; 35; 36; 38; 40; 42; 45; 48; 50	Размер листов (не менее) 450×600	С малыми допусками по толщине, с повышенными электрическими характеристиками. Величина коробления нормируется. Предназначается для работы на воздухе при нормальных климатических условиях и в трансформаторном масле в интервале температур от —65 до +105° С при частоте 50 *гц*

Текстолит	Б	Те же размеры	Те же размеры	С малыми допусками по толщине, с улучшенными механическими характеристиками. Величина коробления нормируется. Предназначается для работы на воздухе при нормальных климатических условиях в интервале температур от —65 до +105° С при частоте 50 *гц*
	Г	Те же размеры	Те же размеры	Свойства и области применения те же, что у текстолита марки А, но с расширенными допусками по толщине и короблению
	ВЧ	0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,2; 1,4; 1,5; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,5; 2,8; 3,0; 3,5; 3,8; 4,0; 4,3; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0; 7,5; 8,0	Те же размеры	С малыми допусками по толщине с улучшенными электрическими характеристиками. Величина коробления нормируется. Предназначается для работы на воздухе при нормальных климатических условиях при частоте 10^6 *гц* в интервале температур от —65 до 105° С
Стеклотекстолит	СТ	1,5; 1,6; 1,8; 2,0; 2,3; 2,5; 2,8; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0—16 (через 1 *мм*); 18; 20; 22; 25; 28; 30	От 450×600 до 980×1480	С малыми допусками по толщине. Величина коробления нормируется. Предназначается для работы на воздухе при нормальных климатических условиях, при напряжениях до 1000 *в* и частоте 50 *гц* в интервале температур от —60 до +130° С
	СТ-Б	Те же размеры	Те же размеры	С большими допусками по толщине. Величина коробления не нормируется. Область применения та же, что и стеклотекстолита марки СТ

Таблица 17 (продолжение)

Материал	Марка	Толщина листов, *мм*	Размер листов, *мм*	Общая характеристика и область применения
Стеклотекстолит	СТ-I	0,5; 0,6; 0,8: 1,0; 1,2; 1,4; (остальные размеры те же, что и у стеклотекстолита марки СТ)	От 450×600 до 980×1480	С малыми допусками по толщине, малой величиной коробления, с более однородной внутренней и поверхностной структурой. Область применения та же, что и стеклотекстолита СТ
	СТ-II (СВФЭ-2)	0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,5; 1,6; 1,8; 2,0; 2,3; 2,5; 2,8; 3,0; 3,5	Те же размеры	С малыми допусками по толщине, малой величиной коробления и повышенной жесткостью. Предназначается для работы на воздухе при нормальных климатических условиях при напряжениях до 1000 *в* и частоте 50 *гц* в интервале температур —60 до 155° С
	СТЭФ	0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,5; 1,6; 1,8; 2,0; 2,3; 2,5; 2,8; 3,0; 4,0; 4,5; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0÷16 (через 1 *мм*); 18; 20; 22; 25; 28; 30	Те же размеры	С малыми допусками по толщине и малой величиной коробления. Предназначается для работы на воздухе при нормальных климатических условиях при напряжении свыше 1000 *в* и частоте 50 *гц* или при относительной влажности воздуха 95±3% и температуре 35° С, при напряжении не выше 1000 *в* и частоте 50 *гц*
	СТЭФ-1	Те же размеры	Те же размеры	То же, но с более однородной структурой в исходном состоянии и после механической обработки. Области применения те же, что и у стеклотекстолита марки СТЭФ

Стеклотекстолит	СТК (СТК-41)	Те же размеры	Те же размеры	С малыми допусками по толщине и малой величиной коробления, с расширенным интервалом рабочих температур (от —60 до 180° С). Предназначается для работы на воздухе при нормальных климатических условиях — при напряжении выше 1000 *в* и частоте 50 *гц* или при относительной влажности воздуха 95±3% и температуре +35° С — при напряжении до 1000 *в* и частоте 50 *гц*
	СТВК	Те же размеры	Те же размеры	Материал на основе кремнеземной стеклоткани, пропитанной кремнийорганической смолой. Применяется в электрических машинах и аппаратах высокого напряжения, длительно работающих при 180° С. Отличается водостойкостью и тропикостойкостью
	СТЭФ-Р/Э	10; 11; 12; 13; 14; 15; 16	450×600 и более	Материал на основе стеклоткани и фенолоэпоксидной смолы. Применяется в качестве подклинной изоляции в роторах турбогенераторов
	Асботекстолит	6; 8; 10; 12; 15; 16; 18; 20; 22; 23; 25; 28; 30; 32; 35; 37; 38; 40; 42; 44; 46; 48; 50; 52; 55; 58; 60	Те же размеры	Материал на основе асбестовой ткани и бакелитовой смолы. Нагревостойкость 130° С. Применяется для клиньев и распорок, в роторах турбогенераторов и других изделиях

Примечание. В скобках указаны прежние наименования слоистых пластмасс.

Таблица 18

Физико-механические характеристики слоистых пластмасс

Материал	Марка	Плотность, $г/см^3$	Удельная ударная вязкость * (не менее), $\frac{кГ \cdot см}{см^2}$	Сопротивление раскалыванию (не менее), $кГ$	Предел прочности при растяжении, $кГ/см^2$	Предел прочности при статическом изгибе, $кГ/см^2$	Теплостойкость (по Мартенсу), °С
Гетинакс	I	1,35—1,45	15/8**	170	800—1000	1000—1200	150—160
	II	1,35—1,45	15/8**	170	800—1200	1000—1300	150—160
	III	1,3—1,4	13/—**	200	700—1100	1000—1200	150—160
	IV	1,28—1,38	5/4**	170	600—700	600—700	150—160
	V—1; V—2	1,3—1,4	10/8**	150	600—1100	800—1000	150—160
	VI	1,3—1,4	—/8**	—	700—1400	Не нормируется	
	VII	1,35—1,45	—/8**	—	700—1400	То же	
	VIII	1,3—1,4	—/8**	—	600—900	»	
Дельта-древесина	ДСП-В-Э ***	1,3—1,4	30—40	—	1100—1500	1500—1600	140—160
	ДСП-Б-Э	1,3—1,4	80—90	—	2200—2600	2600—2700	180—190
Текстолит	А	1,3—1,45	10/20****	300	350—680	700—950	135—140
	Б	1,3—1,45	13/25****	300	450—650	800—1200	135—145
	Г	1,3—1,45	10/20****	300	350—600	700—1400	135—140
	ВЧ	1,3—1,45	Не нормируется		450—700	Не нормируется	

Стеклотекстолит	СТ*****	1,6—1,85	35/12—45/15	130	700—750	950—1000	185—190
	СТ-Б*****	1,6—1,85	35/12—45/15	130	700—750	950—1000	185—190
	СТ-I*****	1,6—1,85	45/15—55/20	130	750—800	1000—1100	185—190
	СТ-II*****	1,6—1,9	—/15——/20	—	1000—1050	—	—
	СТЭФ	1,6—1,9	140/40—160/50	250	1750—1800	2200—2230	185—190
	СТЭФ-1*****	1,6—1,9	150/50—180/60	250	2000—2100	2400—2500	185—195
	СТК	1,6—1,8	30—50	80	900—1500	—	225—250
	СТВК	1,6—1,8	35—40	100	900—1200	1000—1200	225—250
	СТЭФ-Р/Э	1,6—1,7	200—210	280	2000—2600	2800—3500	200—220
Асбестовые пластмассы	Асботекстолит	1,5—1,7	20	200	—	900—1000	210—220
	Асбогетинакс	1,6—1,7	12	170	800—850	1100—1110	185—190

* Значения удельной ударной вязкости, предела прочности при растяжении и при статическом изгибе относятся к образцам, вырезанным в поперечном направлении листов, т. е. представляют собой меньшие значения этих характеристик.

** В числителе дроби даны значения для образцов гетинакса толщиной 10 *мм* и более; в знаменателе — для образцов толщиной от 1 до 9,5 *мм*.

*** У древеснослоистой пластмассы ДСП-В-Э волокна во всех смежных слоях расположены взаимно перпендикулярно. В материале ДСП-Б-Э каждые 5—20 слоев с параллельным направлением волокон чередуются с одним слоем шпона, в котором направление волокон перпендикулярно направлениям их в смежных слоях.

**** Меньшие значения удельной ударной вязкости (в числителе) относятся к образцам текстолита толщиной от 1 до 5 *мм*, большие значения относятся к образцам толщиной от 10 *мм* и более.

***** В числителях дробей даны значения для образцов стеклотекстолита толщиной от 10 *мм* и более; в знаменателях — для образцов толщиной от 1 до 9,5 *мм*. Бóльшие величины дробей относятся к образцам, вырезанным в направлении основы ткани, меньшие — к образцам, вырезанным в направлении утка (поперек основы).

Таблица 19

Электрические характеристики слоистых пластмасс

Материал	Марка	Удельное объемное сопротивление при 20° С	Диэлектрическая проницаемость при 20°С и частоте 50 *гц*	Тангенс угла диэлектрических потерь при 20° С и частоте 50 *гц*	Электрическая прочность $E_{пр}$ перпендикулярна слоям, *кв/мм***		Среднее пробивное напряжение параллельно слоям, *кв*	
					при 20° С	при 90° С	при 20° С	при 90° С
Гетинакс	I	10^{10}—10^{12}	6—7	0,06—0,18	12—20	—	15—18	—
	II	10^{10}—10^{11}	6—8	0,08—0,20	12—20	—	15—18	—
	III	10^{10}—10^{11}	6—8	0,05—0,12	13—20	—	15—18	—
	IV	10^{11}—10^{12}	6—8	0,06—0,15	15—25	—	25—28	—
	V—1	10^{11}—10^{12}	6—7	0,03—0,045	20—25	15—22	18—22	9—12
	V—2							
	VI	10^{10}—10^{11}	6—7*	0,035—0,060*	20—26	—	—	—
	VII	10^{11}—10^{12}	6—7*	0,03—0,043	22—33	—	—	—
	VIII	10^{12}—10^{13}	6—7*	0,025—0,035*	25—30	—	—	—
Дельта-древесина	ДСП-В-Э	10^{11}—10^{12}	7—8	0,08—0,1	8—10	3—4	16—17	8—9
	ДСП-Б-Э	10^{11}—10^{12}	7—8	0,06—0,1	8—9	4—5	16—19	8—9

Текстолит	А	10^{10}—10^{12}	5—6	0,06—0,1	—	5—9	—	8—9 *кв/мм*
	Б	10^{9}—10^{10}	5—6	0,1—0,3	—	3—5	—	6—7 *кв/мм*
	Г	10^{10}—10^{11}	6—7	0,08—0,2	—	5—8	—	8—9 *кв/мм*
	ВЧ	10^{10}—10^{12}	7—8*	0,05—0,07*	—	5—9	—	8—10 *кв/мм*
Стекло-текстолит	СТ	10^{10}—10^{11}	5—6	0,05—0,09	12—16	10—12	18—22	10—11
	СТ-Б	10^{10}—10^{11}	5—6	0,05—0,09	12—16	10—12	18—20	10—11
	СТ-I	10^{10}—10^{11}	5—6	0,06—0,09	12—16	10—12	20—21	10—12
	СТ-II	10^{12}—10^{13}	5—6	0,06—0,01	14—18	12—15	20—22	—
	СТЭФ	10^{13}—10^{14}	4—6	0,006—0,03	30—32	20—25	22—24	30—32
	СТЭФ-1	10^{13}—10^{14}	4—5	0,008—0,03	30—34	20—25	22—24	30—32
	СТК	10^{12}—10^{13}	5—6	0,018—0,04	14—18	10—14	18—20	10—12
	СТВК	10^{12}—10^{13}	4—5	0,008—0,03	12—14	10—12	—	—
	СТЭФ-Р/э	10^{13}—10^{14}	5—4	0,02—0,05	12—14	9—10	—	—
Асбестовые пластмассы	Асботекстолит	10^{8}—10^{9}	7—8	0,3—0,7	1,5—2,0	—	5—6	—
	Асбогетинакс	10^{9}—10^{10}	7—8	0,2—0,5	8—9	—	10—12	—

* Значения ε и tg δ для гетинакса марок VI, VII, VIII и текстолита ВЧ даны для частоты 10^6 *гц*.

** Меньшие значения электрической прочности гетинакса, текстолита и стеклотекстолита относятся к образцам этих материалов толщиной 3 *мм*, а большие значения — к образцам материалов толщиной 0,8—1 *мм*.

§ 17. Намотанные электроизоляционные изделия

Намотанные электроизоляционные изделия представляют собой твердые трубки и цилиндры, изготовленные методом намотки на металлические круглые оправки каких-либо волокнистых материалов (бумага, ткани), предварительно пропитанных связующим веществом (смола, лак).

В качестве волокнистых материалов применяют специальные сорта намоточных или пропиточных бумаг, а также хлопчатобумажные ткани и стеклоткани. Связующими веществами являются бакелитовые, эпоксидные, кремнийорганические и другие смолы.

Намотанные электроизоляционные изделия вместе с оправками, на которые они намотаны, подвергают тепловой обработке. Температура и длительность тепловой обработки зависят от связующего вещества и толщины стенки изделий. С целью уменьшения гигроскопичности намотанных изделий их лакируют. После каждого покрытия лаком намотанные изделия сушат (запекают).

Готовые намотанные изделия представляют собой бумажно-бакелитовые, текстолитовые или стеклотекстолитовые электроизоляционные трубки и цилиндры. В нагревостойких (180—200° С) стеклотекстолитовых намотанных изделиях применяют кремнийорганические смолы и лаки.

К намотанным изделиям можно отнести сплошные текстолитовые стержни. Их тоже получают намоткой заготовок из текстильного наполнителя (шифон, миткаль и др.), пропитанного бакелитовым лаком. Затем эти заготовки подвергают горячему прессованию в стальных пресс-формах.

Намотанные и прессованные изделия допускают все виды механической обработки.

Намотанные электроизоляционные изделия применяют в трансформаторах с воздушной и масляной изоляцией, в воздушных и масляных выключателях, различных электрических аппаратах и узлах электрооборудования.

В табл. 20 и 21 приводятся основные характеристики намотанных электроизоляционных изделий.

Таблица 20

Размеры и области применения намотанных электроизоляционных изделий

Классификация по основе	Наименование изделий	Основные размеры, *мм*					Область применения
		внутренний диаметр	промежуточные значения внутреннего диаметра	толщина стенки	длина изделий	промежуточное значение длины	
Бумажно-бакелитовые	Трубки	10—30	Значения, кратные 2 и 5	1,5	200—500 505—1000	Значения, кратные 5	Применяются от —40 до +105° C на воздухе или в трансформаторном масле в электрических аппаратах и приборах
		32—80	То же	1,5	200—500 505—1000 1010—1200 1210—1500 1550—2000	Значения, кратные 5 и 10	
	Цилиндры ЦБ	85—150	Значения, кратные 5	2,0	200—500	Значения, кратные 5	То же
		155—250	То же	2,0	505—1000	То же	
		255—350	»	2,5	1010—1200	Значения, кратные 10	
		355—500	»	3,0	1210—1500	То же	
		510—650	Значения, кратные 10	4,0	1550—2000	»	
		660—800	То же	5,0			
		810—1000	»	7,0			
		1010—1200	»	8,0			
Текстолитовые на бакелитовой смоле	Трубки	5—30	Через 1 *мм*	1,5	От 100 и более	200; 300; 400; 500; 600	»

Таблица 20 (продолжение)

Классификация по основе	Наименование изделий	Основные размеры, *мм*					Область применения
		внутренний диаметр	промежуточные значения внутреннего диаметра	толщина стенки	длина изделий	промежуточное значение длины	
Текстолитовые на бакелитовой смоле	Цилиндры	32—75 76—125 126—300	Значения, кратные 2 и 5	5 6 7	От 200 и более	300; 400; 600	»
	Стержни	Наружный диаметр 8—60	8, 13, 18, 25, 40, 60	—	От 200 до 500	Через 10 *мм*	Применяются от —40 до +105° С на воздухе или в трансформаторном масле. Допускается механическая обработка
Стеклотекстолитовые на кремнийорганической смоле	Трубки	10—80	Значения, кратные 2 и 5	2,0	От 200 до 500	—	От —60 до 180° С на воздухе (шахтные трансформаторы и другие электрические аппараты). Допускают сверление и резание
	Цилиндры	80—150 155—250 255—350 355—500 500—600	Значения, кратные 5	2,5 2,5 2,5 3,0 5,0	От 500 до 1500	—	
Стеклотекстолитовые на эпоксидно-фенольной смоле	Трубки	10—20	Значения, кратные 2 или 5	2—5	650; 750	—	Применяются от —65° С до 150° С в трансформаторном масле и на воздухе
	ТСЭ	22—80	То же	2—10	650; 750		
	Цилиндры	85—400	Значения, кратные 5	3—20	650; 750	—	То же
	ЦСЭ	410—600	Значения, кратные 10	4—20	850	—	»
	Цилиндры ЦСЭВ	90—140	Значения, кратные 5	10—20	275; 320; 420; 640; 840	—	То же, но с улучшенными характеристиками

Таблица 21

Основные характеристики намотанных электроизоляционных изделий

Классификация по основе	Наименование изделий	Физико-механические свойства*				Электрические характеристики при 20° С			
		плотность, *г/см³*	предел прочности при статическом изгибе, *кГ/см²*	предел прочности при сжатии вдоль оси, *кГ/см²*	водопоглощаемость, %	удельное объемное сопротивление, *ом·см*	диэлектрическая проницаемость при частоте 50 *гц*	тангенс угла диэлектрических потерь при частоте 50 *гц*	электрическая прочность $E_{пр}$, *кв/мм*
Бумажно-бакелитовые	Трубки	1,05—1,12	800—900	400—500	3,5—4,5	10^{10}—10^{12}	4,5—5,0	0,01—0,03	8—16
	Цилиндры	1,05—1,12	800—950	400—500	2,5—4,0	10^{10}—10^{12}	4,5—5,0	0,01—0,03	6—12
Текстолитовые на бакелитовой смоле	Трубки	1,05—1,20	800—900	450—550	2,5—5	10^{10}—10^{12}	4,0—5,0	0,02—0,051	6—10
	Цилиндры	1,05—1,20	800—900	450—550	1,2—4	10^{10}—10^{12}	4,0—5,0	0,01—0,04	5—12
	Стержни	1,25—1,4	1000—1300	450—550	0,4—1,0	10^{9}—10^{11}	4,0—5,0	—	8—9***
Стеклотекстолитовые на кремнийорганической или на эпоксидно-фенольной смоле	Трубки	1,3—1,5	—	450—700	0,9—1,5	10^{12}—10^{14}	3—5	0,03—0,05	2,5—7
	Цилиндры	1,3—1,5	1600—1800**	450—700**	0,6—0,8	10^{12}—10^{14}	3—5	0,03—0,05**	2,5—5,5

* Для выражения плотности, предела прочности при статическом изгибе и сжатии (вдоль оси) в СИ нужно табличные значения умножить на 10^3, 10^5, 10^5 соответственно.

** Большие значения механических характеристик относятся к изделиям на эпоксидно-фенольной смоле. Бóльшие значения электрических характеристик относятся к изделиям на кремнийорганической смоле.

*** У текстолитовых стержней определяют пробивное напряжение параллельно слоям. Оно лежит в пределах 8—9 *кв* при 50 *гц* при стержневых электродах диаметром 5 *мм*, установленных на расстоянии друг от друга в 10 *мм*.

Таблица 22

§ 18. Электроизоляционные трубки

Основные характеристики электроизоляционных трубок

Марка трубок	Внутренний диаметр трубок, *мм*	Толщина стенки, *мм*	Общая характеристика	Пробивное напряжение (не ниже), *кв*		Электрическое сопротивление 1 *м* трубки (не ниже) при 20° С, *Мом*
				в исходном состоянии при 20° С	после 24 *ч* пребывания во влажной атмосфере	
ТЛВ*	0,5; 0,75 1; 1,5; 2,0; 2,5 3,0; 3,5; 4,0; 4,5 5; 6; 7; 8; 9; 10 11; 12; 13; 14; 15; 16	0,4—0,5 0,7 0,7 0,8 0,9	Хлопчатобумажные (линоксиновые) трубки, лакированные масляным светлым лаком. Класс нагревостойкости А (105° С). Морозостойкость до —50° С. Предназначены для работы на воздухе	5	2	1000
ТЛМ*	Те же размеры	Те же толщины	То же, но маслостойкие, предназначены для работы в минеральном масле	5	1	1000
ТПЛ	0,5; 0,75; 1,0; 1,5 2,0; 2,5; 3,0 3,5; 4,0; 4,5; 5,0 6,7; 8; 9; 10	0,4 0,5 0,6 0,8	Трубки лавсановые, пропитанные полиэфирным лаком Класс нагревостойкости А (105° С). Морозостойкость до —50° С. Маслостойкие	5	3,5	1000

ТЭЛ	Те же размеры	Те же толщины	То же, с повышенной нагревостойкостью. Класс В (130° С). Маслостойкие	5	3,5	1000
ТПС	0,35; 0,5; 0,75; 1,0 1,25; 1,5; 1,75; 2,0 2,5; 3,0; 3,5 4,0; 4,5; 5,0; 6,0 7; 8; 9; 10	0,4 0,5 0,6	Трубки из стеклянных нитей, пропитанные пентафталевым лаком. Класс нагревостойкости Е (120° С). Морозостойкость до —60° С. Маслостойкие	5	3,0	Удельное объемное сопротивление при 20° С (не менее) 10^{11} *ом·см*
ТПЛ	Те же размеры	Те же толщины	Трубки из лавсановых волокон, пропитанные пентафталевым лаком. Класс нагревостойкости Е (120° С). Морозостойкость до —60° С. Маслостойкие с повышенной механической прочностью	5	3,0	Та же величина
ТЭС	Те же размеры	Те же толщины	Трубки из стеклянных нитей, пропитанные эпоксидно-полиэфирным лаком. Класс нагревостойкости В (130° С). Морозостойкость до —60° С. Маслобензиностойкие	5	2,0	Та же величина
ТЭЛ	Те же размеры	Те же толщины	Трубки из лавсановых волокон, пропитанные эпоксидно-полиэфирным лаком. Класс нагревостойкости В (130° С). Морозостойкость до —60° С. Маслобензиноксилолостойкая с повышенной механической прочностью	5	2,0	Та же величина

Таблица 22 (продолжение)

Марка трубок	Внутренний диаметр трубок, *мм*	Толщина стенки, *мм*	Общая характеристика	Пробивное напряжение (не ниже), *кв*		Электрическое сопротивление 1 *м* трубки (не ниже) при 20° С, *Мом*
				в исходном состоянии при 20° С	после 24 *ч* пребывания во влажной атмосфере	
ТЭТС	Те же размеры	Те же толщины	Трубки из стеклянных нитей, пропитанных эпоксидно-полиэфирным лаком. Класс нагревостойкости В (130° С). Морозостойкость до —60° С	5	2,0	Та же величина
ТКС	Те же размеры	Те же толщины	Трубки из стеклянных нитей, пропитанные кремнийорганическим лаком. Класс нагревостойкости Н (180° С). Морозостойкость до —60° С	5	2,0	Та же величина
ТКСГ	2,0; 2,5; 3,0 4,0; 5,5; 7,5	0,3—0,4 0,5	Трубки из стеклянных нитей с нанесенным на их поверхность слоем кремнийорганической резины. Класс нагревостойкости Н (180° С). Морозостойкость до —50° С	4	3,5	Удельное объемное сопротивление (не менее) 10^{12} *ом·см*

ТКР	1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5	0,9	Трубки из кремнийорганической резины. Класс нагревостойкости Н (180° С). Морозостойкость до —60° С	10	8	Удельное объемное сопротивление при 20° С (не менее) 10^{12} *ом·см*
	4,0; 4,5; 5; 6; 7; 8; 10	1,3				
	12; 14; 16; 18	1,6				
230**	1,0; 1,5; 2,0; 2,5;		Трубки из полихлорвинилового пластиката, окрашенные и неокрашенные. Нагревостойкость 70° С. Морозостойкость до —40° С	6	3	Удельное объемное сопротивление при 20° С (не менее) $5 \cdot 10^{11}$ *ом·см*
230-Т**	3,0; 3,5	0,3—0,5				
	4,0; 4,5; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 9,0	0,5—0,7				
	10; 12; 14; 16; 18	0,5—0,8				
	20; 25; 30; 34; 36; 40	1—2				
Трубки фторопластовые	0,3; 0,5; 0,8; 1,0	0,2	Трубки высокой нагревостойкости (250° С) из фторопласта 4Д. Морозостойкость до —160° С	26	25	Удельное объемное сопротивление при 20° С (не менее) 10^{16} *ом·см*
	1,0; 1,5; 2,0	0,3				
	2,5; 3,0	0,4				
	3,5; 4,0; 4,5; 5,0	0,6				
	5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0	1,0				
	7,0, 8,0; 8,5; 9; 10	1,5				

* У линоксиновых трубок нормируется разрушающая нагрузка—$P_р$ при растяжении. У трубок диаметром 0,5—1 *мм* $P_р$=3 *кГ* (не менее); у трубок диаметром 1,5—2 *мм* $P_р$=5 *кГ*; у трубок диаметром 2,5 — 3,0 *мм* — $P_р$= 8 *кГ*; у трубок диаметром 4 — 16 *мм* $P_р$=10—12 *кГ*.

** Это рецептуры полихлорвинилового пластиката.

§ 19. Минеральные электроизоляционные материалы

К минеральным электроизоляционным материалам относятся горные породы (слюда, мрамор, шифер, талькохлорит и базальт), а также материалы, получаемые из портландцемента и асбеста (асбестоцемент и асбопласт). Вся эта группа неорганических диэлектриков отличается высокой дугостойкостью и обладает достаточно высокими механическими характеристиками. Минеральные диэлектрики (кроме слюды и базальта) поддаются механической обработке, за исключением нарезания резьбы.

Электроизоляционные изделия из мрамора, шифера и талькохлорита получают в виде досок для панелей и электроизоляционных оснований рубильников и переключателей низкого напряжения. Электроизоляционные изделия из плавленого базальта можно получить только методом литья в формы. Чтобы базальтовые изделия обладали необходимыми механическими и электрическими характеристиками, их подвергают термической обработке с целью образования в материале кристаллической фазы.

Электроизоляционные изделия из асбестоцемента и асбопласта представляют собой доски, основания, перегородки и дугогасительные камеры. Для изготовления асбестоцементных изделий применяют смесь, состоящую из портландцемента (марка не ниже 400) и асбестового волокна. ГОСТ предусматривает выпуск асбестоцементных электротехнических досок длиной 1200, шириной 700—800 *мм* и толщиной от 10 до 40 *мм*.

Изделия из асбопласта получают холодным прессованием из массы, в которую вводится около 15% пластичного вещества (каолина или формовочной глины). Этим достигается большая текучесть исходной прессовочной массы, что позволяет получать из асбопласта электроизоляционные изделия сложного профиля (основания контакторов и др.).

Основным недостатком многих минеральных диэлектриков (за исключением слюды) является невысокий уровень их электрических характеристик, вызванный большим количеством имеющихся в них пор и окислов железа. Недостаточно высокий уровень электрических характеристик позволяет их использовать только в устройствах низкого напряжения (мрамор, шифер, асбестоцемент и базальт).

В большинстве случаев все минеральные диэлектрики, кроме слюды и базальта, используются в пропитанном виде. Материалами для пропитки минеральных диэлектриков служат парафин, битумы, стирол, бакелитовые смолы и др. Наибольший эффект достигается при пропитке уже механически обработанных минеральных диэлектриков (панели, перегородки, камеры и другие изделия).

Мрамор и изделия из него не переносят резких изменений температуры и растрескиваются. Шифер, базальт, талькохлорит, слюда и асбестоцемент более устойчивы к резким сменам температур.

Основные характеристики минеральных электроизоляционных материалов приведены в табл. 23.

§ 20. Слюдяные электроизоляционные материалы

Слюдяные электроизоляционные материалы состоят из листочков слюды, склеенных с помощью какой-либо смолы или клеящего лака. К клееным слюдяным материалам относятся миканиты, микафолий и микаленты.

Основной областью применения клееных слюдяных материалов является изоляция обмоток электрических машин высокого напряжения (генераторы, электродвигатели), а также изоляция машин низкого напряжения нагревостойкого исполнения (класс Н) и машин, работающих в тяжелых условиях эксплуатации.

Миканиты представляют собой твердые или гибкие листовые материалы, получаемые склеиванием листочков щипаной слюды (мусковит, флогопит или смеси этих слюд) с помощью шеллачной, глифталевых, кремнийорганических и других смол или лаков на основе этих смол.

Основные виды миканитов — коллекторный, прокладочный, формовочный и гибкий.

Коллекторный и прокладочный миканиты относятся к группе твердых миканитов, которые после клейки слюды подвергаются прессованию при повышенных удельных давлениях и нагреве. Эти миканиты обладают меньшей усадкой по толщине и имеют бо̀льшую плотность.

Формовочный и гибкий миканиты имеют более рыхлую структуру и обладают меньшей плотностью.

Коллекторный миканит — твердый листовой материал, изготовляемый из листочков слюды флогопит, склеенных с помощью шеллачной или глифталевой смол или лаков на основе этих смол. Для обеспечения механической прочности при работе в коллекторах электрических машин в коллекторные миканиты (марки КФШ; КФГ; КФГС) вводят не более 4% клеящего вещества. В миканите марки КФА связующего (аммофос) не более 0,6%. Прессование коллекторного миканита производится при повышенных давлениях 180—260 *кГ/см*^{2} и при температуре 160—170° С.

В марках коллекторного миканита буквы и цифры обозначают: К — коллекторный миканит; Ф — на слюде флогопит; Ш — на шеллачной смоле; Г — на глифталевой смоле; С — специальный; А — на неорганическом связующем — аммофосе. Коллекторный миканит выпускается в листах размером не менее 215×465 *мм*, калиброванным по толщине.

Прокладочный миканит — твердый листовой материал, изготовляемый из листочков щипаной слюды (мусковит, флогопит или из смеси этих слюд), склеенных с помощью шеллачной или глифталевой смол или лаков на их основе. После склеивания листы прокладочного миканита подвергают прессованию при 150—160° С и давлении 35—60 *кГ/см*^{2}. Прокладочные миканиты содержат от 75 до 95% слюды и 25—5% клеящего вещества.

В марках прокладочного миканита буквы обозначают: П — прокладочный миканит; М — на слюде мусковит; Ф — на слюде флогопит; С — на смеси слюд; Г — на глифталевой смоле; Ш — на шеллачной смоле; К — на кремнийорганической смоле; буква А указывает на пониженное содержание связующего (от 5 до 12%).

Прокладочный миканит выпускается калиброванным и некалиб-

розанным по толщине. Листы этого миканита имеют размер не менее 550×650 *мм.*

Формовочный миканит — твердый листовой материал, изготовляемый из листочков щипаной слюды (мусковит, флогопит или из смеси слюд), склеенных с помощью шеллачной, глифталевой или кремнийорганических смол или лаков на основе этих смол. После склеивания листы формовочного миканита подвергают подпрессовке при 140—150° С и удельном давлении 6—10 *кГ/см*². Формовочные миканиты содержат от 80 до 92% слюды и 20—8% клеящего вещества. Из формовочного миканита изготовляют горячим прессованием (формование) коллекторные манжеты, конусы, каркасы катушек и другие электроизоляционные изделия фасонного профиля.

В марках формовочного миканита буквы и цифры обозначают: Ф — формовочный миканит; М — на слюде мусковит; Ф — на слюде флогопит; С — на смеси слюд; Ш — на шеллачной смоле; Г — на глифталевой смоле; К — на кремнийорганической смоле; А — пониженное содержание клеящего вещества (5—14%).

Формовочный миканит выпускается в листах размером не менее 550×650 *мм.*

Гибкий миканит — листовой материал, обладающий гибкостью при комнатной температуре. Гибкий миканит изготовляется из листочков щипаной слюды (мусковит или флогопит), склеенных масляно-битумным, масляно-глифталевым или кремнийорганическим лаками (без сиккатива), образующими гибкие пленки.

Отдельные виды гибкого миканита оклеивают с двух сторон микалентной бумагой (для увеличения механической прочности материала).

Гибкие миканиты, не оклеенные бумагой, содержат от 75 до 90% слюды и 25—10% клеящего вещества. Миканиты, оклеенные бумагой, содержат 65—50% слюды, 10—25% клеящего вещества, остальное — бумага.

В марках гибкого миканита буквы и цифры обозначают: Г — гибкий; М — на слюде мусковит; Ф — на слюде флогопит; С — на светлом масляно-глифталевом лаке; Ч — на черном масляно-битумном лаке; К — на кремнийорганическом лаке; О — оклеенный бумагой.

Гибкие миканиты выпускаются в листах, размером не менее 450×650 (оклеенные бумагой) и 550×650 *мм* (не оклеенные бумагой).

Гибкий стекломиканит — листовой материал, гибкий при комнатной температуре. Он представляет собой разновидность гибкого миканита, отличается повышенной механической прочностью на разрыв и повышенной нагревостойкостью. Гибкий стекломиканит изготовляется из листочков щипаной слюды флогопит, склеенных друг с другом кремнийорганическими или масляно-глифталевыми лаками, образующими гибкие нагревостойкие пленки. Листы гибкого стекломиканита оклеиваются (с одной или с двух сторон) бесщелочной стеклотканью. Гибкие стекломиканиты содержат слюды от 45 до 60% и клеящего вещества от 13 до 30%; остальные — стеклоткань и летучие вещества.

Гибкие стекломиканиты выпускают в листах размером не менее 640×850 *мм.*

В марках гибкого стекломиканита буквы и цифры обозначают: $Г_1$ — стекломиканит гибкий, оклеенный с одной стороны; $Г_2$ — стекломиканит гибкий, оклеенный с двух сторон; Ф — на слюде флогопит; К — на кремнийорганическом лаке; Г — на масляно-глифталевом лаке; I — повышенная электрическая прочность; II — нормальная электрическая прочность.

Таблица 23

Основные характеристики минеральных электроизоляционных материалов

Материал	Плотность, *г/см³*	Механические характеристики				Электрические характеристики при 20° С		Водопоглощаемость за 24 *ч*, %	Общая характеристика
		Предел прочности при растяжении, *кГ/см²*	Предел прочности при сжатии, *кГ/см²*	предел прочности при статическом изгибе, *кГ/см²*	удельная ударная вязкость, *кГ·см/см²*	ρ_v, *ом·см*	$E_{пр}$, *кв/мм*		
Мрамор	2,5—2,9	180—300	800—2000	40—150	2,0—5,0	10^9—10^{10}	1,0—4,0	0,10—0,50	Материал поддается распиловке, сверлению, фрезерованию и полировке
Шифер	2,7—2,8	170—200	700—1500	300—500	3,5—5,0	10^8—10^9	0,5—1,5	0,5—1,0	Материал обрабатывается как и мрамор, кроме того, может раскалываться вдоль слоев
Талькохлорит (уральский)	2,8—3,0	100—150	700—1000	80—200	1,5—2,8	10^7—10^9	0,8—1,0	0,4—1,5	Материал легко обрабатывается теми же способами, что мрамор и ши-

Таблица 23 (продолжение)

Материал	Плотность, $г/см^3$	Механические характеристики				Электрические характеристики при 20° С		Водопоглощаемость за 24 *ч*, %	Общая характеристика
		Предел прочности при растяжении, $кГ/см^2$	Предел прочности при сжатии, $кГ/см^2$	предел прочности при статическом изгибе, $кГ/см^2$	удельная ударная вязкость, $кГ \cdot см/см^2$	ρ_v, $ом \cdot см$	$E_{пр}$, $кв/мм$		
									фер. После обжига дает более плотную структуру
Базальт (ровненский)	2,9—3,1	220—250	2000—2500	600—680	1,4—1,7	10^{10}—10^{11}	3,0—4,0	0,01—0,02	Износоустойчивый и дугостойкий материал, обрабатывается только шлифованием
Асбестоцемент	1,6—1,8	50—60	800—1500	350—600	4,0—9,0	10^8—10^9	1,5—2,0	15—25	Дугостойкий, механически прочный материал, поддается распиливанию, сверлению и фрезерованию. Изделия получают методом отливки и прессованием

Асбопласт	2,1—2,2	—	700—800	250—280	2,5—3,5	10^{8}—10^{9}	2,0—3,0	10—15	Асбестоцемент, модифицированный 10—15% формовочной глины Материал обладает высокой текучестью, что позволяет получать дугостойкие детали сложного профиля
Слюда мусковит щипаная (толщина листочков 5—45 *мкм*)	2,8—2,9	17—36	3500—5500	—	—	10^{15}	120—190	0,18	Нагревостойкие (до 500° С) прокладки, конденсаторы и в клееных слюдяных материалах (миканиты, микаленты и др.)
Слюда флогопит щипаная (толщина листочков 5—45 *мкм*)	2,7—2,8	16—22	2100—2550	—	—	10^{14}	100—180	0,28	То же, но бóльшая нагревостойкость (600—800° С)

Примечание. Для выражения плотности, предела прочности (при растяжении, сжатии и статическом изгибе) и удельной ударной вязкости в СИ нужно табличные значения умножить на 10^{3}, 10^{5} и 10^{3} соответственно.

Микафолий — рулонный или листовой электроизоляционный материал, формуемый в нагретом состоянии. Он состоит из одного или нескольких (двух-трех) слоев листочков слюды (мусковит или флогопит), склеенных между собой и с полотном бумаги (толщиной 0,05 *мм*) или со стеклотканью или со стеклосеткой. В качестве клеящих лаков применяют шеллачный, глифталевый, полиэфирный или кремнийорганический.

Микафолий содержит 50—65% слюды, 32—12% клеящих веществ, остальное — бумага и летучие вещества. Микафолий выпускают в рулонах шириной не менее 500 *мм* — на бумаге; 700 *мм* — на стеклоткани и на стеклосетке и в листах размером 500×1000 *мм* и 700×1000 *мм*.

В марках микафолия буквы обозначают: М — микафолий; М (на втором месте) — на слюде мусковит; Ф — на слюде флогопит; Г — на глифталевом лаке; Ш — на шеллачном лаке; П — на полиэфирном лаке; К — на кремнийорганическом лаке; Б — на бумаге; Т — на стеклоткани; С — на стеклосетке.

Микалента — рулонный электроизоляционный материал, гибкий при комнатной температуре. Состоит из одного слоя листочков щипаной слюды (мусковит или флогопит), склеенных между собой и оклеенных с одной или с двух сторон тонкой (20—25 *мкм*) микалентной бумагой, стеклотканью или стеклосеткой.

В качестве клеящих лаков применяют масляно-битумные (черные), масляно-глифталевые (светлые), кремнийорганические и растворы каучуков.

В микаленте содержатся 45—50% слюды, 8—30% клеящего вещества, летучих веществ не более 6%, остальное бумага или стеклоткань. Микаленту выпускают в роликах диаметром 110 *мм* и шириной 10, 15, 20, 23, 25, 30 и 35 *мм*.

В марках микаленты буквы обозначают: Л — лента; М — на слюде мусковит; Ф — на слюде флогопит; Ч — на масляно-битумном лаке; С — на масляно-глифталевом лаке; К — на кремнийорганическом лаке; Р — на растворе каучука; Б — оклеена с одной стороны микалентной бумагой; ББ — оклеена с двух сторон микалентной бумагой; ТТ — оклеена с двух сторон стеклотканью; СС — оклеена с двух сторон стеклосеткой; ТС — оклеена с одной стороны стеклотканью, а с другой — стеклосеткой, ТБ — оклеена с одной стороны стеклотканью, а с другой микалентной бумагой.

Микашелк — рулонный электроизоляционный материал, гибкий при комнатной температуре. Микашелк представляет собой одну из разновидностей микаленты, но с повышенной механической прочностью на разрыв.

Микашелк состоит из одного слоя листочков щипаной слюды (мусковит или флогопит), склеенных между собой и оклеенных с одной стороны полотном из натурального шелка, а с другой — микалентной бумагой. В качестве клеящих лаков применяют масляно-глифталевые или масляно-битумные лаки, образующие гибкие пленки.

В марках микашелка буквы обозначают: Л — лента; М — на слюде мусковит: Ф — на слюде флогопит; Ш — оклеен шелком (с одной стороны); Б — оклеен бумагой (с другой стороны); С — на масляно-глифталевом (светлом) лаке; Ч — на масляно-битумном (черном) лаке.

Микашелк выпускают в рулонах шириной от 400 до 900 *мм*.

Микаполотно — рулонный или листовой электроизоляционный материал, гибкий при комнатной температуре.

Микаполотно состоит из одного или нескольких слоев щипаной слюды (мусковит или флогопит), склеенных между собой и оклеенных с двух сторон хлопчатобумажной тканью (перкаль) или микалентной бумагой с одной стороны и тканью — с другой.

В марках микаполотна буквы обозначают: Л — лента; ПП — оклеено с двух сторон хлопчатобумажной тканью; ПБ — оклеено с одной стороны хлопчатобумажной тканью; а другой — микалентной бумагой; Ч — на масляно-битумном (черном) лаке; С — на масляно-глифталевом (светлом) лаке; М — на слюде мусковит; Ф — на слюде флогопит. Микаполотно выпускают в рулонах шириной 300—600 *мм* и в листах размером 870×1000 *мм*.

Микалекс представляет собой слюдяную пластмассу, изготовляемую прессованием из смеси порошкообразной слюды и стекла. Отпрессованные изделия подвергают термической обработке при температуре 750—850° С.

Микалекс выпускают в виде пластин и стержней, а также в виде электроизоляционных изделий (панели, основания для переключателей, воздушных конденсаторов др.). При прессовании микалексовых изделий в них могут быть запрессованы металлические части. Микалексовые изделия поддаются всем видам механической обработки. Удельная ударная вязкость микалекса 3÷5 *кГ · см/см²* предел прочности при сжатии 1000—1200 *кГ/см²* плотность 2,5—3 *г/см³*; теплостойкость (по Мартенсу) 300—350° С. Диэлектрическая проницаемость микалекса ε=7—8. Наибольшая длительно допустимая рабочая температура для микалексовых изделий 300° С.

Основные характеристики слюдяных материалов приведены в табл. 24. Остальные характеристики следующие.

У слюдяных материалов значения тангенса угла диэлектрических потерь находятся на уровне: 0,02—0,06 — у миканитов; 0,04—0,09 — у микалент; 0,005—0,006 — у микалекса.

Значения предела прочности при растяжении у микафолия составляют 1,5—3,2 *кГ/мм²*; у стекломикафолия 4—5 *кГ/мм²*; у микалент —1,8—3,0 *кГ/мм²*; у микашелка — 3,0—4,0 *кГ/мм²*; у микаполотна 4,0—4,2 *кГ/мм²*; у стекломикалент 6—8 *кГ/мм²*.

§ 21. Слюдинитовые электроизоляционные материалы

При разработке природной слюды и при изготовлении электроизоляционных материалов на основе щипаной слюды образуется большое количество отходов. Утилизация отходов слюды сделала возможным получение новых электроизоляционных материалов — слюдинитов. Слюдинитовые материалы получают из слюдинитовой бумаги, предварительно обработанной каким-либо клеящим составом (смолы, лаки).

Из слюдяной бумаги посредством склеивания с помощью клеящих лаков или смол и последующего горячего прессования получают твердые или гибкие слюдинитовые электроизоляционные материалы. Клеящие смолы могут быть введены непосредственно в жидкую слюдяную массу — слюдяную суспензию.

Номенклатура слюдинитовых электроизоляционных материалов примерно та же, что и материалов на основе щипаной слюды.

Важнейшими слюдинитовыми материалами являются следующие.

Таблица 24

Основные характеристики слюдяных электроизоляционных материалов

Наименование	Марка материала	Толщина материала, *мм*	Электрические характеристики при 20° С		Общая характеристика и область применения
			ρ_v, *ом·см*	$E_{пр}$, *кв/мм*	
Миканит коллекторный	КФГ, КФШ	0,40; 0,50; 0,60; 0,70; 0,80; 0,90; 1,00; 1,10; 1,20; 1,30; 1,40; 1,50	10^{14}—10^{15}	18—20	Электроизоляционные прокладки между пластинами в коллекторах электрических машин
	КФГС	0,40; 0,50; 0,60	10^{14}—10^{15}	18—22	
Миканит коллекторный на аммофосе	КФА	0,70; 0,80; 0,90; 1,00; 1,10; 1,20	10^{13}—10^{14}	18—25	То же, но в электрических машинах нагревостойкого исполнения
Миканит прокладочный	ПМГ, ПМГА, ПФГ, ПФГА, ПСГ, ПСГА	0,50; 0,60; 0,70; 0,80; 0,90; 1,00; 1,50; 2,00; 3,00; 5,00	10^{13}—10^{14}	15—24	Электроизоляционные твердые прокладки и шайбы различного назначения в электрических машинах и аппаратах
	ПМШ, ПМША, ПФШ, ПФША, ПСШ, ПСША,	0,50; 0,60; 0,70; 0,80; 0,90; 1,00; 1,50; 2,00; 3,00; 5,00	10^{13}—10^{14}	15—24	
	ПФКА	0,15 и та же толщина		18—35	
Миканит формовочный прессованный	ФМГ, ФМГА, ФФГ, ФФГА, ФСГ, ФСГА	0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50; 0,60; 0,70; 0,80;	10^{13}—10^{14}	27—38 22—35 22—35	Электроизоляционные изделия фасонного профиля: конусы, цилиндры, коллекторные манжеты

		0,90; 1,00; 1,50 и более			и т. д., получаемые горячим прессованием из заготовок формовочного миканита
	ФМШ; ФМША ФФШ; ФФША ФСШ; ФСША	Та же толщина	10^{13}—10^{14}	27—38 22—35 22—35	
	ФМК, ФФК, ФФКА	0,15; 0,20; 0,25; 0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50	10^{13}—10^{15}	28—39	То же, но в электрических машинах нагревостойкого исполнения (класс Н)
Миканит гибкий	ГМС, ГМЧ, ГФС, ГФЧ, ГФК	0,15; 0,20; 0,25 0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50	10^{13}—10^{14}	22—29 19—25 18—24	Пазовая и межвитковая изоляция, а также гибкие изоляционные прокладки в электрических машинах высокого напряжения
То же, но оклеечный бумагой	ГМСО, ГФСО, ГМЧО, ГФЧО	0,20; 0,25; 0,30; 0,40; 0,50	10^{13}—10^{14}	15—21	То же
Стекломиканит гибкий	$Г_1ФГ1$, $Г_1ФК1$, $Г_2ФК1$, $Г_2ФЭ1$	0,22; 0,30; 0,50 0,20; 0,22; 0,25; 0,30;	10^{12}—10^{13}	9—17	Гибкий стекломиканит обладает повышенной механической прочностью
		0,35; 0,40; 0,50; 0,60	10^{12}—10^{14}	10—18	Применяется в качестве гибкой слюдяной изоляции в электрических машинах и аппаратах

Таблица 24 (продолжение)

Наименование	Марка материала	Толщина материала, *мм*	Электрические характеристики при 20° С		Общая характеристика и область применения
			ρ_v, *ом·см*	$E_{пр}$, *кв/мм*	
	$Г_2ФГII$, $Г_2ФКII$, $Г_2ФЭII$	0,25; 0,30; 0,35; 0,40; 0,50; 0,60	10^{12}—10^{13}	8—16	Применяется в качестве гибкой слюдяной изоляции в электрических машинах и аппаратах
Микафолий	МФП-Т, МФП-С, МФК-Т, МФК-С	0,20; 0,25; 0,30	10^{12}—10^{13}	13—15	Пазовая и межвитковая изоляция электрических машин высокого напряжения (гильзы, трубки, прокладки и др.)
	ММК-Т, ММК-С	0,20; 0,25; 0,30	10^{13}—10^{14}	16—18	
	ММГ-Б, ММГ-Т, ММГ-С, ММШ-Б	0,15; 0,20; 0,25; 0,30	10^{12}—10^{13}	16—18	
Микалента	ЛФЧ-ББ	0,10; 0,13; 0,17	10^{12}—10^{13}	12—20	Микалента воздушной сушки — гибкая изоляция стержней и секций обмоток электрических машин высокого напряжения
	ЛФС-ББ	0,10; 0,13	10^{12}—10^{13}	14—22	
	ЛФЧ-ТБ	0,14; 0,17	10^{12}—10^{13}	12—14	
	ЛФС-ТБ	0,10; 0,13; 0,15; 0,17	10^{12}—10^{13}	12—14	
	ЛФС-ТТ	0,10; 0,13; 0,15; 0,17; 0,21	10^{12}—10^{13}	13—15	
				12—13	
	ЛМЧ-ББ	0,10; 0,13	10^{12}—10^{13}	13—15	
	ЛМС-ББ	0,17	10^{12}—10^{13}	9—11	
	ЛМЧ-ТБ	0,15; 0,17	10^{12}—10^{13}	16—22	
				13—18	
				12—16	

	ЛФК-Т	0,08		16—18	Микалента печной сушки, гибкая нагревостойкая изоляция стержней и секций обмоток электрических машин
		0,13; 0,15	10^{13}—10^{14}	12—15	
	ЛФК-ТТ	0,10; 0,13; 0,15	10^{12}—10^{13}	11—12	
	ЛФК-ТС	0,17; 0,21	10^{12}—10^{13}	9—11	
	ЛМР-СС	0,13	10^{12}—10^{13}	12—14	
	ЛМК-ТТ, ЛМК-ТС	0,13; 0,15	10^{12}—10^{13}	12—14	
Микашелк	ЛСМШБ, ЛЧМШБ, ЛСФШБ,	0,14; 0,17	10^{13}—10^{14}	13—15	Изоляция секций и лобовых частей обмоток электрических машин высокого напряжения
	ЛЧФШБ	0,14; 0,17	10^{12}—10^{14}	12—14	
Микаполотно	ЛППЧМ, ЛППСМ	0,4; 0,5	10^{11}—10^{13}	10—13	Гибкий материал с повышенной прочностью при растяжении. Применяется для междуфазовой изоляции и для пазовой изоляции (мягкая гильза)
	ЛПБЧМ, ЛПБСМ	0,3	10^{11}—10^{12}	10—13	
	ЛППЧФ, ЛППСФ	0,4; 0,5	10^{11}—10^{12}	10—12	
	ЛПЧФ, ЛПБСФ	0,3	10^{11}—10^{12}	10—12	
Микалекс	—	4; 5; 6; 8; 10; 12; 13; 15; 17; 20; 22; 25	10^{12}—10^{14}	13—18	Нагревостойкие и дугостойкие детали (платы, каркасы, катушки, клеммные доски и др.)

Слюдинит коллекторный — твердый листовой материал, калиброванный по толщине. Получается горячим прессованием листов слюдинитовой бумаги, обработанной шеллачным лаком. Коллекторный слюдинит выпускается в листах размером от 215×400 *мм* до 400×600 *мм* одной марки КСШ. Буквы в марке обозначают: К — коллекторный; С — слюдинит; Ш — на шеллачном лаке.

Слюдинит прокладочный — твердый листовой материал, получаемый горячим прессованием листов слюдинитовой бумаги, пропитанных клеящими лаками. Прокладочный слюдинит выпускается в листах размером 200×400 *мм*. Из прокладочного слюдинита изготовляют различного рода твердые прокладки и шайбы для электрических машин и аппаратов с нормальным и повышенным перегревом (на кремнийорганическом связующем).

В марках прокладочного слюдинита буквы обозначают: П — прокладочный; С — слюдинит; Г — на глифталевом связующем; Ш — на шеллаке; К — на кремнийорганическом связующем; Э — на эпоксидно-фенолоформальдегидной смоле.

Стеклослюдинит формовочный — твердый листовой материал в холодном состоянии и формируемый в нагретом состоянии. Получается склеиванием слюдинитовой бумаги с подложками из стеклоткани.

Формовочный нагревостойкий стеклослюдинит — твердый листовой материал, формуемый в нагретом состоянии. Он получается склеиванием листов слюдинитовой бумаги со стеклянной тканью с помощью нагревостойкого кремнийорганического лака. Материал изготовляется в листах размером 250×350 *мм* и более. Он обладает повышенной механической прочностью при растяжении.

В марках стеклослюдинита буквы обозначают: Ф — формовочный; С — стеклослюдинит, цифры 25 и 40 обозначают толщину стеклоткани (в микронах), стоящие в конце буквы; К — кремнийорганический лак; Н — нагревостойкий.

Слюдинит гибкий — листовой материал, гибкий при комнатной температуре, получается посредством склеивания листов слюдинитовой бумаги с последующим горячим прессованием. В качестве связующего применяется полиэфирный или кремнийорганический лак. Большинство видов гибкого слюдинита оклеивается стеклотканью с одной или двух сторон.

Гибкий слюдинит выпускается в листах размером 500×800 *мм* (не оклеенные стеклотканью) и 500×600 *мм* (оклеенные стеклотканью).

В марках гибкого слюдинита буквы и цифры обозначают: С — слюдинит; Г — гибкий неоклеенный; $Г_1$ — гибкий, оклеенный стеклотканью с одной стороны; $Г_2$ — гибкий, оклеенный стеклотканью с двух сторон; П — полиэфирный лак; К — кремнийорганический лак.

Стеклослюдинит гибкий (нагревостойкий) — листовой материал, гибкий при комнатной температуре, получается в результате склеивания одного или нескольких листов слюдинитовой бумаги со стеклотканью или стеклосеткой при помощи кремнийорганических лаков. После склеивания материал подвергается горячему прессованию. Он оклеен стеклотканью с одной или с двух сторон с целью повышения механической прочности.

Гибкий нагревостойкий стеклослюдинит выпускается в листах размером 250×350 *мм* (не менее).

В марках нагревостойкого стеклослюдинита буквы и цифры обозначают: С — стеклослюдинит; Г — гибкий; К — кремнийорганиче-

ский лак; Н — нагревостойкий; цифры 25 и 40 обозначают толщину примененной стеклоткани (в микронах).

Слюдинитофолий — рулонный или листовой материал, гибкий в нагретом состоянии, получаемый склеиванием одного или нескольких листов слюдинитовой бумаги с телефонной бумагой толщиной 0,05 *мм*, применяемой в качестве гибкой подложки.

Области применения слюдинитофолия те же, что и микафолия на основе щипаной слюды. Слюдинитофолий выпускается в рулонах шириной 320—400 *мм.*

В марке слюдинитофолия буквы обозначают: С — слюдинитофолий; С (на втором месте) — на слюдинитовой бумаге; С (на третьем месте) — на светлом связующем (смесь лаков ТГФ-8 и 420); П — на целлюлозном подслое.

Слюдинитовая лента — рулонный нагревостойкий материал, гибкий при комнатной температуре, состоящий из слюдинитовой бумаги, оклеенной с одной или обеих сторон стеклосеткой или стеклотканью.

Слюдинитовые ленты выпускают преимущественно в роликах шириной 15, 20, 23, 25, 30 и 35 *мм*, реже — в рулонах.

В марках слюдинитовой ленты буквы обозначают: Л — лента; С — слюдинитовая; К — кремнийорганический лак; Т — оклеена с одной стороны стеклотканью; ТТ — оклеена с двух сторон стеклотканью; СС — оклеена с двух сторон стеклосеткой.

Стеклобумослюдинитовая лента — рулонный, гибкий в холодном состоянии материал, состоящий из слюдинитовой бумаги, стеклосетки и микалентной бумаги, склеенных и пропитанных эпоксидно-полиэфирным лаком ПЭ-935. С поверхности ленту покрывают липким слоем компаунда ПД-4. Ленту выпускают в роликах шириной 15, 20, 23, 35, 30 *мм*. Буквы в марке ленты обозначают: $Л_2$ — лента двусторонняя; С — слюдинитовая; С (на третьем месте) — на стеклосетке; Б — на микалентной бумаге; ПЭ — на эпоксидно-полиэфирном лаке; К — покрыта слоем компаунда ПД-4.

Стеклослюдинитоэлектрокартон — листовой материал, гибкий при комнатной температуре. Он получается в результате склеивания слюдинитовой бумаги, электрокартона и стеклоткани при помощи лака. Выпускается в листах размером 500×650 *мм.*

Буквы в марке обозначают: С — слюдинит; С — стеклоткань; К — электрокартон; П — для пазовой изоляции в электрических машинах.

Основные характеристики слюдинитовых электроизоляционных материалов приведены в табл. 25.

§ 22. Слюдопластовые электроизоляционные материалы

Все слюдопластовые материалы изготовляются посредством склеивания и прессования листов слюдопластовой бумаги. Последнюю получают из непромышленных отходов слюды, в результате механического дробления частиц упругой волной. По сравнению со слюдинитами слюдопластовые материалы обладают большей механической прочностью, но менее однородны, так как состоят из частиц большей величины, чем слюдиниты. Важнейшими слюдопластовыми электроизоляционными материалами являются следующие.

Таблица 25

Основные характеристики слюдинитовых материалов

Наименование материала	Марка материала	Номинальная толщина, *мм*	Электрические характеристики при 20° С		Область применения
			ρ_v, *ом·см*	$E_{пр}$, *кв·мм**	
Слюдинит коллекторный	КСШ	0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2;**	10^{12}—10^{14}	20—26	Электроизоляционные прокладки между пластинами коллекторов электрических машин
Слюдинит прокладочный	ПСК; ПСГ; ПСШ; ПСЭ	0,4; 0,6; 0,7; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0	10^{12}—10^{14}	20—24	Различного рода электроизоляционные твердые прокладки в электрических машинах и аппаратах
Стеклослюдинит формовочный нагревостойкий	ФС25КН ФС40КН	0,10; 0,12; 0,10; 0,15; 0,20	10^{13}—10^{14}	25—32	Электроизоляционные изделия фасонного профиля, получаемые горячим формованием. Применяется в электрических машинах с изоляцией класса Н
Слюдинит гибкий	$Г_1СП$; $Г_1СК$;	0,10; 0,15 0,15; 0,20; 0,30; 0,40; 0,50	10^{13}—10^{14}	18—20 16—22	Гибкие прокладки и пазовая изоляция в электрических машинах с изоляцией класса В ($Г,СП_1$

	$Г_2СП$; $Г_2СК$	0,20; 0,25; 0,30; 0,40; 0,50		26—28	$Г_1СП$; $Г_2СП$) и в машинах с изоляцией класса Е ($Г_1СК$, $Г_2СК$)
Стеклослюдинит гибкий нагревостойкий	ГС25КН ГС40КН	0,10; 0,12 0,10; 0,15	10^{13}—10^{14}	20—27	Применяется в качестве гибких прокладок и пазовой изоляции в электрических машинах нагревостойкого исполнения (до 250° С)
Слюдинитофолий	СССП	0,10; 0,12; 0,15	10^{12}—10^{13}	8—12	Изоляция роторных стержней в электродвигателях невлагостойкого исполнения
Слюдинитовая лента	ЛСК-Т, ЛСК-С ЛСК-ТТ; ЛСК-СС	0,11 0,15; 0,17	10^{12}—10^{14}	12—14 8—10	Применяется в тех же областях, что и микалента из щипаной слюды, но в электрических машинах повышенной нагревостойкости (класс Н)
Стеклобумослюдинитовая лента	$Л_2$ССБ-ПЭК	0,15	10^{12}—10^{13}	10—18	Корпусная изоляция в электрических машинах напряжением до 6 *кв*
Стеклослюдинитоэлектрокартон	ССК-П	0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50	10^{13}—10^{14}	15—22	То же, но в машинах нагревостойкого исполнения (класс Н)

* Приводятся средние значения электрической прочности ($E_{пр. ср.}$). Электрическая прочность слюдинитовых материалов в отдельных точках может быть ниже приведенных значений на 25—35%.

** По соглашению сторон допускается изготовление коллекторного слюдинита толщиной более 1,2 *мм*.

Слюдопласт коллекторный — твердый листовой материал, калиброванный по толщине. Получается горячим прессованием листов слюдопластовой бумаги, предварительно покрытых слоем клеящего состава. Выпускается в листах размером (не менее) 215×465 *мм*. Буквы в марках материала обозначают: К — коллекторный; С — слюдопласт; Ф — на слюде флогопит; Ш — на шеллачном лаке; Т — на термостойком связующем; С (на втором месте) — специальный; I и II — с пониженной усадкой.

Слюдопласт прокладочный — твердый листовой материал, получаемый горячим прессованием листов слюдопластовой бумаги, покрытых слоем связующего вещества. Выпускается в листах размером (не более) 520×850 *мм*. Буквы в марках материала обозначают: П — прокладочный; С — слюдопласт; Ф — на слюде флогопит; Ш — на шеллачном лаке; Т — на термостойком связующем; А — пониженное содержание связующего (клеящего) вещества.

Слюдопласт формовочный — прессованный листовой материал, твердый в холодном состоянии и способный формоваться в нагретом состоянии. Выпускается в листах размером от 200×400 *мм* до 520×820 *мм*. Буквы в марке материала обозначают: Ф — формовочный; С — слюдопласт; Ф — на слюде флогопит; Ш — на шеллачном лаке; А — пониженное содержание связующего вещества.

Слюдопласт гибкий — прессованный листовой материал, гибкий при комнатной температуре. Изготовляется одной марки ГСФС. В марке буквы обозначают: Г — гибкий; С — слюдопласт; Ф — на слюде флогопит; С (на втором месте) — на светлом масляно-глифталевом лаке. Выпускается в листах размером от 200×400 *мм* до 520×820 *мм*.

Стеклослюдопласт гибкий — прессованный, листовой материал, гибкий при комнатной температуре, состоит из нескольких слоев слюдопластовой бумаги, оклеенных с одной стороны стеклотканью, а с другой — стеклосеткой или с обеих сторон стеклосеткой. Материал выпускается в листах размером: от 250×500 *мм* до 500×850 *мм*. В марках стеклослюдопласта буквы обозначают: Г — гибкий; И — интегрированная слюда флогопит; Т — на триэтиленглифталевом лаке; П — на полиэфирноэпоксидном лаке; К — на кремнийорганическом лаке; ТС — оклеен стеклотканью с одной стороны и стеклосеткой — с другой; СС — оклеен стеклосеткой с обеих сторон.

Слюдопластофолий — рулонный или листовой материал, гибкий и формуемый в нагретом состоянии, получаемый склеиванием нескольких листов слюдопластовой бумаги и оклеенный с одной стороны телефонной (0,05 *мм*) бумагой или без нее. Буквы в марках слюдопластофолия обозначают: С — слюдопластофолий; Ф — на слюде флогопит; Г — на глифталевом лаке; Б — оклеенный телефонной бумагой (с одной стороны); П — повышенное содержание связующего.

Слюдопластолента — гибкий при комнатной температуре рулонный материал, состоящий из слюдопластовой бумаги, оклеенной микалентной бумагой с обеих сторон. Слюдопластолента выпускается в роликах шириной 12, 15, 17, 24, 30 и 34 *мм*. Буквы в марке материала обозначают: СЛ — слюдопластолента; Ф — на слюде флогопит; Ч — на черном масляно-битумном лаке.

Стеклослюдопластолента нагревостойкая — гибкий при комнатной температуре материал, состоящий из одного слоя слюдопластовой бумаги, оклеенной с одной или с двух сторон стеклотканью или стеклосеткой с помощью кремнийорганического лака. Материал выпу-

скается в роликах шириной 15; 20; 25; 30 и 35 *мм*. Буквы в марках материала обозначают: С — стеклослюдопластолента; Ф — на слюде флогопит; К — на кремнийорганическом лаке; Т — оклеена стеклотканью с одной стороны; ТТ — оклеена стеклотканью с двух сторон; ТС — оклеена стеклотканью с одной стороны и стеклосеткой — с другой.

Основные характеристики слюдопластовых материалов представлены в табл. 26.

§ 23. Электрокерамические материалы и стекла

Электрокерамические материалы представляют собой искусственные твердые тела, получаемые в результате термической обработки (обжига) исходных керамических масс, состоящих из различных минералов (глины, тальк и др.) и других веществ, взятых в определенном соотношении. Из керамических масс получают различные электрокерамические изделия: изоляторы, конденсаторы и др.

В процессе высокотемпературной (1280—1450° С) обработки (обжига) электрокерамических изделий между частицами исходных веществ происходят сложные физико-химические процессы с образованием новых веществ кристаллического и стеклообразного строения.

Электрокерамические материалы делят на три группы: материалы, из которых изготовляют изоляторы (изоляторная керамика), материалы, из которых изготовляют конденсаторы (конденсаторная керамика), и сегнетокерамические материалы, обладающие аномально большими значениями диэлектрической проницаемости (ε=1000—7500), и пьезоэффектом [1]. Сегнетокерамические материалы находят главное применение в радиотехнике.

Все электрокерамические материалы отличаются высокой нагревостойкостью, атмосферостойкостью, стойкостью к электрическим искрам и дугам и обладают хорошими электроизоляционными свойствами и достаточно высокой механической прочностью. В табл. 27 приведены характеристики широко применяемых электрокерамических материалов, из которых изготовляют различного рода изоляторы. В табл. 28 приведены составы и основные характеристики нескольких электрокерамических материалов, из которых изготовляют конденсаторы [2].

Наряду с электрокерамическими материалами многие типы изоляторов получают из стекла. Для изготовления изоляторов применяют малощелочное и щелочное стекла. Большинство типов изоляторов высокого напряжения изготовляют из закаленного стекла. Закаленные стеклянные изоляторы по своей механической прочности превосходят фарфоровые изоляторы. В табл. 29 приведен химический состав изоляторных стекол, в табл. 30 — основные характеристики изоляторных стекол.

---

[1] О сегнетокерамике см. Н. Г. Дроздов, Н. В. Никулин «Электроматериаловедение», «Высшая школа», 1972.

[2] О конденсаторах см. §§ 31 и 33 справочника.

Таблица 26

Основные характеристики слюдопластовых материалов

Наименование материала	Марка материала, *мм*	Номинальная толщина, *мм*	Электрические характеристики при 20° С		Область применения
			ρ_v, *ом·см*	$E_{пр}$, *кв/мм*	
Слюдопласт коллекторный	КСФШС, КСФТС, КСФШ	0,4; 0,5; 0,6	10^{13}—10^{14}	20—22	Электроизоляционные прокладки между пластинами в коллекторах электрических машин
	КСФШ-I, КСФШ-II, КСФТ	0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5 и более	10^{13}—10^{15}	20—25	
Слюдопласт прокладочный	ПСФША, ПСФТ	0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,5; 2,0	10^{13}—10^{15}	20—25	Различного рода электроизоляционные твердые прокладки в электрических машинах и аппаратах
	ПСФШ	Те же размеры и 3,0; 5,0			
Слюдопласт формовочный	ФСФША	0,20; 0,25; 0,30; 0,35	10^{13}—10^{15}	27—35	Коллекторные манжеты диаметром до 250 *мм* и другие детали фасонного профиля, получаемые горячим формованием
Слюдопласт	ГСФС	0,2	10^{12}—10^{14}	23—25	Гибкие электроизоля-

гибкий					ционные прокладки и пазовая изоляция электрических машин
Стеклослюдопласт гибкий	ГИТ-ТС, ГИТ-СС	0,30; 0,35	10^{12}—10^{14}	10—18	То же, но в электрических машинах с изоляцией классов: В (марки ГИТ и ГИП) и С (марки ГИК)
	ГИП-ТС, ГИП-СС; ГИК-ТС, ГИК-СС	0,40; 0,45	10^{12}—10^{14}	7,7—16	
Слюдопластофолий	СФГ, СФГ-П	0,15	10^{12}—10^{14}	22—26	Изоляция роторных стержней и др. в электрических машинах невлагостойкого исполнения
	СФГ-Б, СФГ-БП	0,15; 0,20; 0,30	10^{12}—10^{13}	20—22	
Слюдопластолента *	СЛФЧ	0,11; 0,13	10^{12}—10^{13}	12—22	Витковая и корпусная (в композиции с микалентой) изоляция на напряжения до 6 *кв*
Стеклослюдопластолента нагревостойкая	СФК-Т СФК-ТС	0,08; 0,10; 0,12	10^{13}—10^{14}	15—18	Витковая и корпусная изоляция электрических машин на напряжения до 6 *кв*
	СФК-ТТ	0,13; 0,17	10^{13}—10^{14}	15—18	

* Предел прочности при растяжении у слюдопластоленты $\sigma_p = 2,2 - 2,6$ *кГ/см*².

Таблица 27

Основные характеристики изоляторных электрокерамических материалов

Материал	Плотность, г/см³	Механические характеристики: предел прочности при растяжении, кГ/см²	предел прочности при статическом изгибе, кГ/см²	удельная ударная вязкость, кГ·см/см²	Температурный коэффициент линейного расширения, 1/° С	Электрические характеристики при 20° С: ρ_v, ом·см	ε	tg δ при 50 гц	$E_{пр}$, кв/мм
Электрофарфор	2,2—2,3	300—350	600—900	1,7—1,8	$(3,5 \div 4,0)\ 10^{-6}$	$7 \cdot 10^{12}$—$4 \cdot 10^{13}$	6—7	0,022—0,035	28—35
Электрофарфор тонкодисперсный МК-4	2,3—2,4	400—549	854—1000	1,8—1,88	$(4,0 \div 4,5)\ 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{13}$	6,6—7,2	0,015—0,030	35—38
Ультрафарфор (УФ-46 и УФ-53)	3,2—3,4	500—650	2000—2500	2,5—2,8	$(5,0 \div 5,5) \cdot 10^{6}$	10^{14}—10^{15}	8,0—8,8	0,0005—0,001	30—36
Стеатит (СК-1; ТК-21)	2,9—3,2	600—700	1700—1900	3,0—3,5	$(6 \div 6,4) \cdot 10^{-6}$	10^{15}—10^{16}	6,5—7,0	0,001—0,003	40—42
Кордиерит	2,2—2,3	—	500—750	2,0—3,0	$(2,0 \div 3,3) \cdot 10^{-6}$	10^{12}—10^{13}	5—6	—	4,5—6

Примечания:

1. Приведенные значения механических характеристик относятся к неглазурованным образцам. У образцов фарфора и стеатита, покрытых глазурью, значения механических характеристик превышают приведенные в среднем на 10—15% (при правильно подобранных глазурях).
2. Значения линейного коэффициента расширения даны для интервала температур 20—100° С.
3. Стеатиты, по сравнению с фарфорами и кордиеритом, обладают меньшей устойчивостью к резкой смене температур, т. е. менее термостойки.
4. Кордиеритовая керамика обладает заметным водопоглощением (7—15%), но отличается большой термостойкостью, а также стойкостью к электрическим дугам и находит главное применение в электрических дугогасящих аппаратах и в электронагревательных приборах.

Таблица 28

Состав и основные характеристики электрокерамических конденсаторных материалов

Марка	Химический состав	Плотность, *г/см³*	Температурный коэффициент линейного расширения, 1/° C	Предел прочности при статическом изгибе, *кГ/см²*	Электрические характеристики при 20° C				
					ε при 1—5 *Мгц*	ТКε при 1—5 *Мгц* 1/° C	ρ_v при 100° C, *ом·см*	$E_{пр}$ при постоянном напряжении, *кв/мм*	tg δ при 1—5 *Мгц*
С-15	$Ca(Sn_{0,98} \times \times Ti_{0,02})O_3$	4,8	$8 \cdot 10^{-6}$	800—900	14—16	$+(30 \pm 20) 10^{-6}$	10^{10}—10^{11}	10—12	$(3—4) 10^{-4}$
Т-20	$Zr \cdot TiO_4$	4,3	$6 \cdot 10^{-6}$	900—1000	20—25	$-(50 \pm 20) 10^{-6}$	10^{10}—10^{11}	8—10	$(3—4) 10^{-4}$
Т-80	$(Ti_{0,96} \times \times Zr_{0,04})O_1$	3,8	$8 \cdot 10^{-6}$	1200—1500	70—80	$-(700 \pm 100) 10^{-6}$	10^{9}—10^{10}	10—12	$(4—5) 10^{-4}$
Т-150	$Ca(Ti_{0,99} \times \times Zr_{0,01})O_3$	3,9	$9 \cdot 10^{-6}$	1400—1800	140—150	$-(300 \pm 200) 10^{-6}$	10^{10}—10^{11}	10—12	$(3—4) 10^{-4}$

Таблица 29

Химический состав изоляторных стекол

Окислы	Химический состав стекол, %		
	малощелочного 13в	щелочного Львовского з-да	щелочного з-да им. Дзержинского
SiO_2	63,5	74,65	71,9
Al_2O_3	15,5	—	1,39
Fe_2O_3	1,2	0,6	—
CaO	13,0	8,95	7,79
MgO	4,0	—	3,28
Na_2O+K_2O	2,0	15,8	14,87
F	2,0	—	—

Таблица 30

Основные характеристики изоляторных стекол

Наименование стекла	Плотность, *г/см³*	Предел прочности при статическом изгибе, *кГ/см²*	Коэффициент линейного расширения, 1/°С	Температура размягчения, °С	Удельное объемное сопротивление при 20°, *ом·см*	Тангенс угла при 20°С и 50 *гц*	Электрическая прочность при 20°С, *кв/мм*
Малощелочное 13в (незакаленное)	2,55	650	$5\cdot10^{-6}$	700	$4\cdot10^{14}$	0,02	48
Малощелочное 13в (закаленное)	2,60	2500	—	—	$2\cdot10^{14}$	0,03	48
Щелочное (незакаленное)	2,5	400	$9\cdot10^{-6}$	550	$5\cdot10^{12}$	0,04	30
Щелочное (закаленное)	2,5	2000	—	—	$3\cdot10^{12}$	0,06	30

Примечание. Для выражения плотности и предела прочности при изгибе в СИ нужно табличные значения умножить на 10^3 и 10^5 соответственно.

ГЛАВА II

ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ

§ 24. Общие сведения об изоляторах

Изоляторы представляют собой электроизоляционные конструкции из керамического материала или из стекла, армированные металлической арматурой. Изоляторы применяют для обеспечения электрической изоляции и механической связи частей, находящихся под раз-

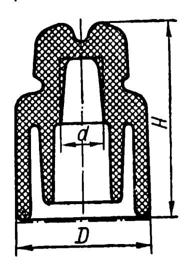


Рис. 15. Штыревой изолятор низкого напряжения ШН-1

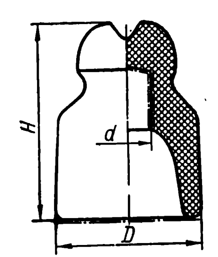


Рис. 16. Штыревой изолятор низкого напряжения ШН-1М

ными электрическими потенциалами в электротехнических устройствах. Металлическая арматура (фланцы, колпаки, штыри и др.) закрепляют на изоляторах с помощью различных цементирующих составов (цементно-песчаные составы и др.).

Металлическая арматура служит для крепления изоляторов на опорах линий электропередачи, баках трансформаторов, масляных выключателей, а также для закрепления на изоляторах проводов и других токоведущих деталей.

Важнейшим керамическим материалом для изготовления изоляторов является электротехнический фарфор [1] (см. § 23). Некоторые типы изоляторов изготовляют из стеатита и стекла. Форма изоляторов выбирается такой, чтобы распределение силовых линий электрического поля внутри изолятора и по его поверхности приближалось бы к равномерному, что обеспечивает наибольшую электрическую прочность изоляторов.

Изоляторы высокого напряжения выпускаются на напряжения 1, 3, 6, 10, 15, 35, 110, 150, 220, 330 и 500 *кв*. Изоляторы низкого напря-

[1] Иногда называют — высоковольтный фарфор.

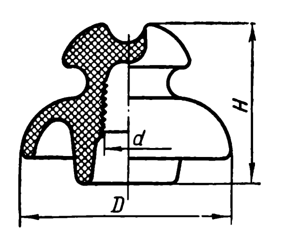


Рис. 17. Штыревой изолятор ШФ6-А и ШФ10-А

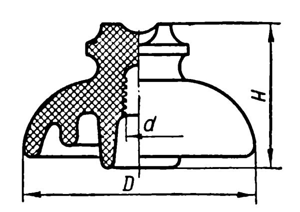


Рис. 18. Штыревой изолятор ШФ10-Б

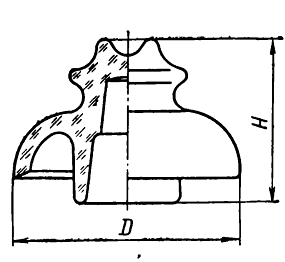


Рис. 19. Штыревой и стеклянный изоляторы ШС-С-10 и ШССЛ-10

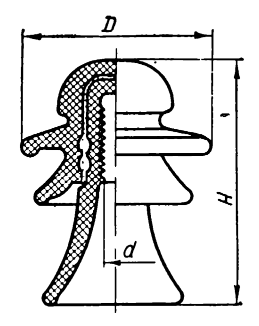


Рис. 20. Штыревой изолятор ШФ20-А и ШФ35-А

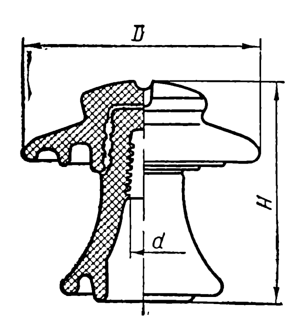


Рис. 21. Штыревой изолятор ШФ20-Б и ШФ35-Б

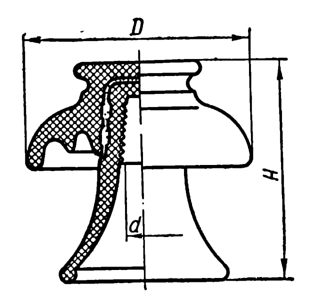


Рис. 22. Штыревой изолятор ШФ35-В

Таблица 31

Основные размеры и характеристики штыревых изоляторов низкого напряжения

Тип изолятора	Номер рисунка	Размеры, *мм*			Материал	Наименьшая разрушающая нагрузка на срез головки, *кГ*	Область применения
		H	*D*	*d*			
ШФН-1	15*	98	88	23	Фарфор	1000	Изоляторы применяются на воздушных линиях напряжением до 660 *в* переменного и 440 *в* постоянного тока
ШФН-2	15	78	72	23	»	800	
ШФН-3	15	61	58	19	»	300	
ШФН-4	15	48	52	17	»	150	
ШН-1	15	108	75	22	»	800	
ШН-1М	16	108	80	26,7	»	800	
ТСМ-2	16*	108	83	27,0	Стекло	800	

* Истинное очертание формы изоляторов типа ШФН и ТСМ-2 несколько отличаются от изображенного на рис. 15 и 16 несущественными деталями.

Таблица 32

Основные размеры и характеристики штыревых изоляторов высокого напряжения

Тип изолятора	Номер рисунка	Основные размеры, *мм*			Напряжения, *кв*				Наименьшая разрушающая нагрузка на срез головки, *кГ*	Материал	Вес (не более), *кг*
		H	*D*	*d*	номинальное	сухоразрядное	мокроразрядное	пробивное			
ШФ6-А	17	94	126	28	6	50	28	65	1400	Фарфор	0,97
ШФ10-А	17	110	147	32,5	10	60	34	78	1400	»	1,4
ШФ10-Б	18	120	212	32,5	10	75	40	100	1400	»	2,8
ШС-С-10	19	109	150	32	10	60	34	78	1400	Стекло	1,35
ШССЛ-10	19	110	155	32	10	60	34	78	1400	Стекло—фарфор	1,35
ШФ20-А	20	199	185	36	20	86	57	110	2000	Фарфор	3,4
ШФ20-Б	21	196	230	35	20	100	70	130	2000	»	4,85
ШФ35-А	20	287	276	48	35	120	80	156	3000	»	10,1
ШФ35-Б	21	285	310	47	35	140	100	180	3000	»	11,0
ШФ35-В	22	275	280	48	35	140	95	175	3000	»	9,5

жения предназначаются для электротехнических установок с напряжением до 500 *в*, а также для устройств проволочной связи. По своей конструкции изоляторы делятся на штыревые, подвесные, опорные, опорно-штыревые, опорно-стержневые, проходные и вводы.

§ 25. Штыревые изоляторы

Штыревые изоляторы низкого напряжения состоят из одного фарфорового элемента (рис. 15 и 16). Штыревые изоляторы высокого напряжения состоят из одного (рис. 17, 18) или двух (рис. 20 и 21) фарфоровых элементов. Последние жестко соединены друг с другом с помощью цементно-песчаного состава. Штыревые изоляторы армируются на металлических штырях, закрепляемых на траверсах опор. Все штыревые изоляторы обеспечивают жесткое крепление проводов на опорах. В табл. 31 и 32 приведены главные размеры и характеристики штыревых изоляторов.

§ 26. Подвесные изоляторы

Эти изоляторы обеспечивают нежесткую связь проводов с опорами на линиях электропередачи высокого напряжения. Тарельчатый подвесной изолятор (рис. 23, 24) состоит из фарфорового или стек-

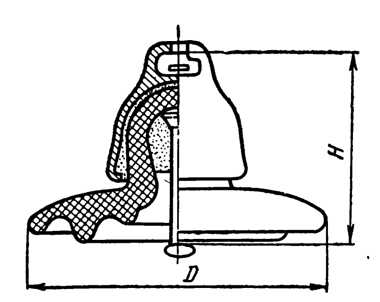


Рис. 23. Подвесной изолятор ПФ-6А; ПФ-6Б; ПФ-6В; ПФ-16А; ПФ-20А

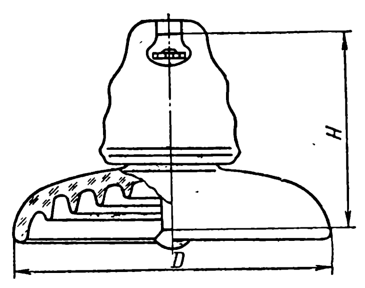


Рис. 24. Подвесной изолятор ПС-6А; ПС-11; ПС-16А; ПС-16Б; ПС-22А; ПС-30

лянного элемента, на головке которого закреплена на цементно-песчаном составе оцинкованная шапка из ковкого чугуна. Во внутренней полости подвесного изолятора закрепляется оцинкованный стальной стержень. Тарельчатые подвесные изоляторы соединяют в гирлянды, обеспечивающие шарнирную связь провода с опорой линии электропередачи.

На рис. 25 и 26 показаны конструкции подвесных изоляторов для районов с загрязненной атмосферой. Они имеют выступающие крылья, увеличивающие длину утечки тока по их поверхности. В табл. 33

Таблица 33

Основные размеры и характеристики линейных подвесных изоляторов

Тип изолятора	Номер рисунка	Основные размеры, *мм*		Длина пути утечки тока (не менее), *мм*	Напряжения, *кв*			Электромеханическая гарантируемая нагрузка, *кГ*	Материал	Вес (не более), *кг*	Область применения
		H	*D*		сухоразрядное	мокроразрядное	пробивное				
ПФ-6А	23	167	270	285	60	32	110	6000	Фарфор	6,5	В поддерживающих и натяжных гирлян-
ПФ-6Б	23	140	270	280	60	32	110	6000	»	6,0	дах на ЛЭП 35, 110, 150, 220 и 330 *кв*
ПФ-6В	23	140	270	324	60	32	110	6000	»	5,3	То же
ПС-6А	24	130	255	255	58	37	90	6000	Стекло	4,1	» »
ПС-11	24	170	290	320	65	40	90	11000	»	6,6	То же и на 500 *кв*
ПС-16А	24	180	320	360	66	42	100	16000	»	9,0	В поддерживающих и натяжных гирлян-
ПС-16Б	24	170	280	350	65	40	100	16000	»	7,9	дах на ЛЭП 330 и 500 *кв*
ПФ-16А	23	173	280	365	68	40	125	16000	Фарфор	8,6	То же
ПФ-20А	23	194	350	420	68	44	125	20000	»	12,8	В поддерживающих и натяжных гирлян-
ПС-22А	24	200	320	390	80	50	110	22000	Стекло	10,8	дах на ЛЭП 150—500 *кв*
ПС-30А	24	217	320	350	65	40	110	30000	»	14,2	То же, но на ЛЭП 500 и 750 *кв*
ПР-3,5	25	198	250	455	110	48	110	5000	Фарфор	10,4	В поддерживающих гирляндах на ЛЭП 35—330 *кв* в районах с загрязненной атмосферой
НС-2	26	198	270	470	107	50	110	6000	»	8,1	В натяжных гирляндах в районах с за-
НЗ-6	26	214	300	480	110	62	120	8000	»	13,5	грязненной атмосферой на ЛЭП 35—500 *кв*

приведены основные характеристики линейных подвесных изоляторов с изоляционными элементами из электротехнического фарфора или из стекла.

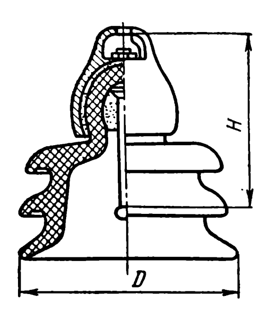


Рис. 25. Подвесной изолятор ПР-3,5

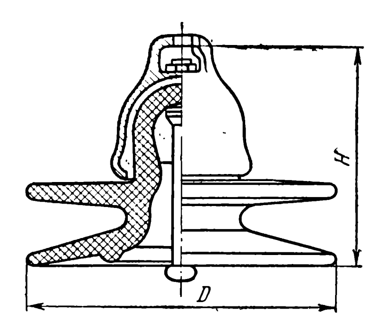


Рис. 26. Подвесной изолятор НС-2 и НЗ-6

§ 27. Линейные стержневые изоляторы

Кроме тарельчатых линейных изоляторов, находят применение изоляторы стержневые (рис. 27, 28). Использование стержневых изоляторов позволяет сократить расход металла, применяемого для арматуры в тарельчатых подвесных изоляторах, а также повысить электрическую прочность, так как стержневые изоляторы не подвержены пробою.

В табл. 34 приведены главные размеры и основные характеристики линейных стержневых изоляторов.

§ 28. Опорные изоляторы

Опорные изоляторы (рис. 30—36) служат для изоляции и поддержания шин или контактных деталей в распределительных устройствах и в электрических аппаратах (разъединители и др.) высокого напряжения.

Опорные изоляторы (рис. 31—33) снабжают металлическими фланцами для крепления их на стенах или на металлических основаниях электрических аппаратов. На головке фарфорового элемента закрепляют колпачок, на котором располагают шину или другие токоведущие части, изолируемые от земли. В других конструкциях опорных изоляторов (рис. 30 и 34) фланец и колпачок отсутствуют. В этих изоляторах в специальных углублениях фарфорового элемента закрепляются фасонные вкладыши с резьбовыми отверстиями. С помощью нижнего вкладыша опорный изолятор крепят на стене или металлическом основании электрического аппарата. На верхнем вкладыше закрепляется шина или другая токоведущая деталь. Металлическая арматура (фланцы, колпачки и др.) закрепляется на фарфоровых частях изоляторов с помощью цементно-песчаного состава. В табл. 35 приведены основные размеры и характеристики опорных изоляторов для внутренних установок.

Таблица 34

Основные характеристики линейных фарфоровых стержневых изоляторов

Тип изолятора	Номер рисунка	Номинальное напряжение, *кв*	Основные размеры, *мм*				Электрические характеристики при 20 °C		Наименьшая разрушающая нагрузка при растяжении, *кГ*	Вес, *кг*	Область применения
			H	*h*	*D*	*d*	сухоразрядное напряжение, *кв*	мокроразрядное напряжение, *кв*			
СП-110/1,5	27	110	1270	14 ребер	150	75	420	310	2250	26,6	Оттяжки на воздушных выключателях
СП-35	27	35	544	508	130	70	110	85	1200	9,2	Для поддерживания колонн разрядников и др. элементов электрического оборудования
ССФ-27, 5/5	28	27,5	Размеры на рис. 28				140	100	5	26	Для изоляции контактной сети железных дорог напряжением 27,5 *кв* переменного тока и 3,3 *кв* постоянного тока
ФСФ-27,5/3,5	29	27,5	Размеры на рис. 29				135	100	3,5	25	

Примечание. Изоляторы могут работать в интервале температур —60 ÷ +50 °C

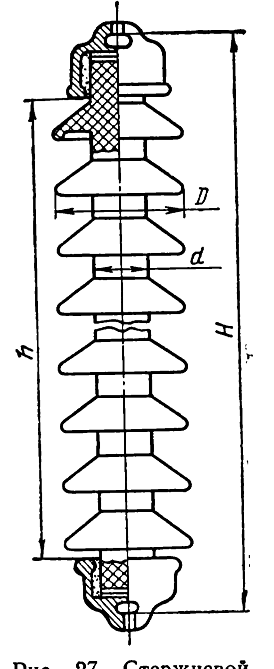


Рис. 27. Стержневой изолятор СП-110/1,5 и СП-35

Рис. 28. Секционный стержневой изолятор ССФ-27,5/5

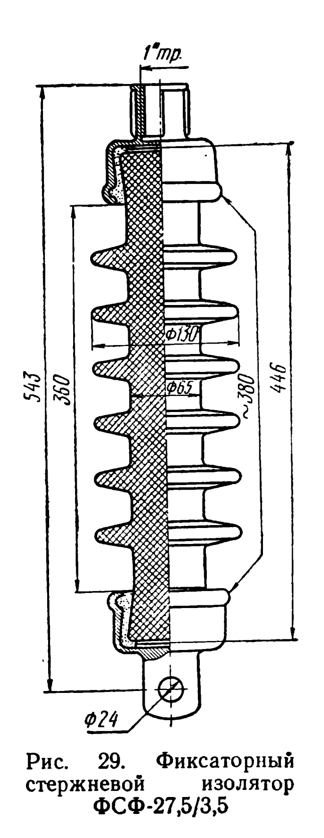


Рис. 29. Фиксаторный стержневой изолятор ФСФ-27,5/3,5

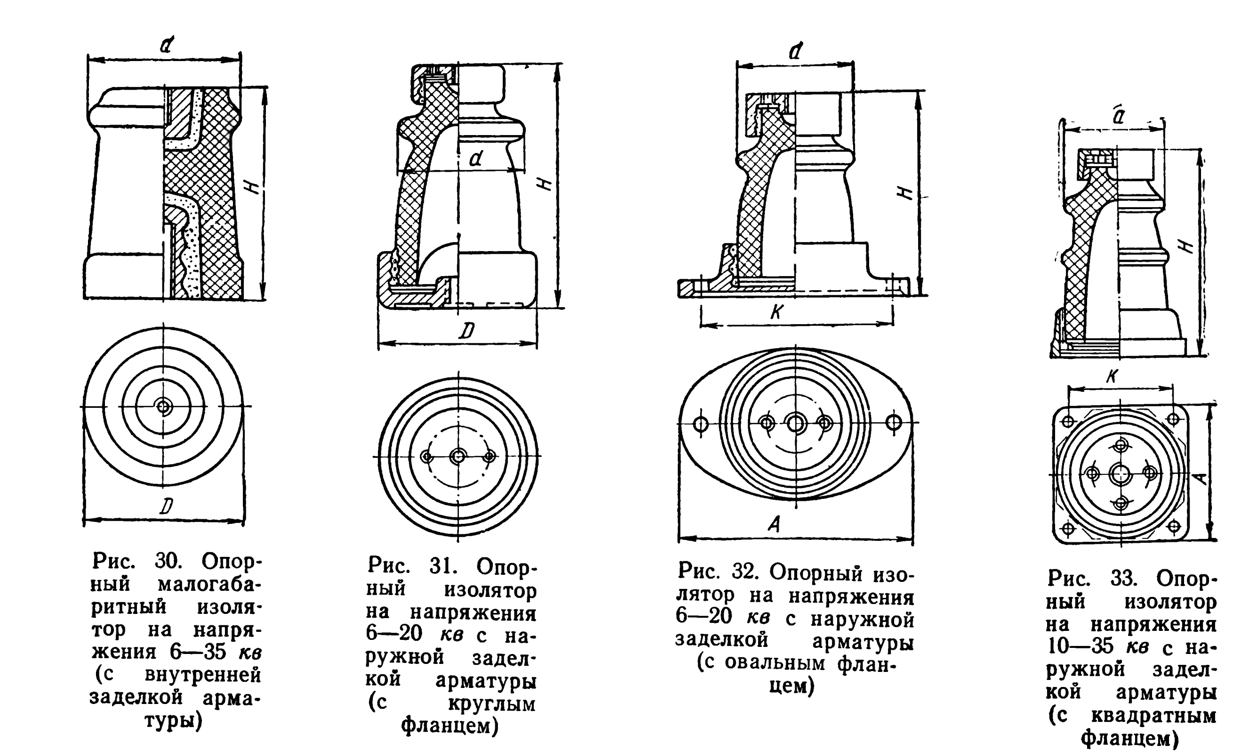


Рис. 30. Опорный малогабаритный изолятор на напряжения 6—35 *кв* (с внутренней заделкой арматуры)

Рис. 31. Опорный изолятор на напряжения 6—20 *кв* с наружной заделкой арматуры (с круглым фланцем)

Рис. 32. Опорный изолятор на напряжения 6—20 *кв* с наружной заделкой арматуры (с овальным фланцем)

Рис. 33. Опорный изолятор на напряжения 10—35 *кв* с наружной заделкой арматуры (с квадратным фланцем)

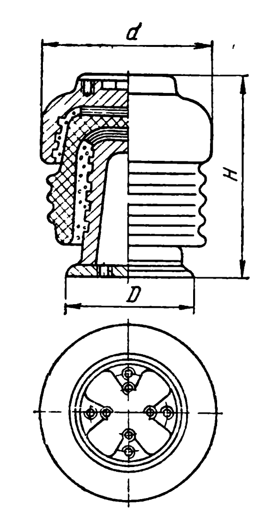


Рис. 34. Опорный ребристый изолятор на напряжение 10 *кв* и разрушающую нагрузку 6000 *кГ*

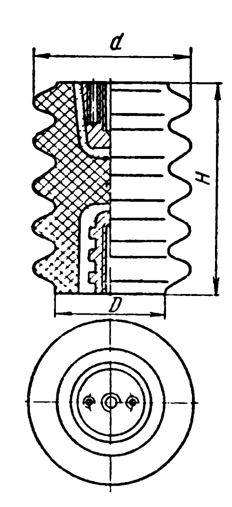
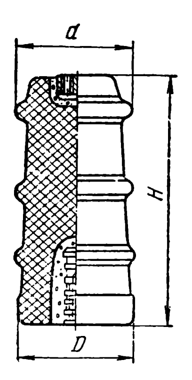


Рис. 35. Опорный ребристый изолятор на напряжения 10 и 20 *кв* (с внутренней заделкой арматуры)



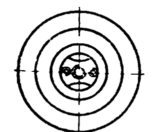


Рис. 36. Опорный малогабаритный изолятор на напряжение 35 *кв* (с внутренней заделкой арматуры

В обозначениях типов изоляторов буквы обозначают: О — опорный; Ф — фарфоровый; Р — с ребристой поверхностью. Цифры 1, 6, 10, 20, 35 указывают номинальное напряжение изолятора в киловольтах (*кв*), цифры, стоящие на втором месте (375; 750; 1250; 2000; 3000; 4250; 6000), указывают минимальную разрушающую нагрузку (*кГ*) при испытании изолятора на изгиб. Буквенные индексы, стоящие после цифр: кр — круглая форма основания фланца (см. рис. 31); ов — овальная форма основания фланца (см. рис. 32); кв — квадратная форма основания фланца (см. рис. 33). Отсутствие буквенных индексов означает, что металлическая арматура заделана внутри фарфорового элемента изолятора. Изоляторы могут работать в интервале температур от —45 до +40° С.

§ 29. Опорно-штыревые изоляторы

Эти изоляторы представляют собой конструкции (рис. 37—39), состоящие из одного, двух или даже трех фарфоровых элементов. На головку верхнего фарфорового элемента *2* (рис. 39) опорно-штыревого изолятора наклеивают чугунную шапку *1*, на которой имеются отверстия для крепления шинодержателя или других токоведущих деталей. Фарфоровые элементы *2*, *3*, *4* жестко соединены друг с другом с помощью цементно-песчаного состава. Изолятор в целом закреплен на чугунном штыре *5* с помощью этого же состава.

Опорно-штыревые изоляторы применяют в качестве изоляционных опор в открытых распределительных устройствах. Изоляторы имеют далеко выступающие крылья, которые защищают от дождя нижележащие части изолятора.

В обозначениях типов опорно-штыревых изоляторов буквы обозначают: О — опорный изолятор; Ш — штыревой; Н — наружной установки. Цифры, стоящие на первом месте за буквами, указывают номинальное напряжение, а цифры, стоящие на втором месте,— минимальную разрушающую нагрузку изолятора (*кГ*). Основные размеры и характеристики опорно-штыревых изоляторов представлены в табл. 36.

На напряжения 110 и 220 *кв* опорно-штыревые изоляторы собирают в колонки (рис. 40).

§ 30. Опорно-стержневые изоляторы

Разновидностью опорных изоляторов являются опорно-стержневые изоляторы (рис. 41—45), предназначенные также для работы в наружных установках.

Опорно-стержневой изолятор (см. рис. 41) представляет собой сплошной фарфоровый стержень с выступающими крыльями. На торцевых частях изоляторов закреплены чугунные колпаки с нарезными отверстиями для соединения изоляторов в колонки и для крепления их на аппаратах и в распределительных устройствах. Для их изготовления требуется меньше металла в сравнении с опорно-штыревыми изоляторами.

В обозначениях типов изоляторов буквы обозначают: О — опорный; Н — наружной установки; С — стержневой. На напряжения до 110 *кв* применяются единичные изоляторы, а выше 110 *кв* — колон-

Таблица 35

Основные размеры и характеристики опорных фарфоровых изоляторов для внутренних установок

Тип изолятора	Номер рисунка	Номинальное напряжение, *кв*	Основные размеры, *мм*					Наименьшая разрушающая нагрузка на изгиб (не менее), *кГ*	Вес 1 шт. (не более), *кг*	Форма фланца
			H	*D*	*d*	*A*	*K*			
ОФ-1-375	30	1	62	70	70	—	—	375	0,7	С внутренней арматурой
ОФ-6-375	30	6	100	77	60	—	—	375	1,12	То же
ОФ-6-375 кр	31	6	165	108	62	—	—	375	2,2	Круглый
ОФ-6-375 ов	32	6	165	—	—	160	135	375	2,5	Овальный
ОФ-6-750 кр	31	6	185	130	82	—	—	750	4,43	Круглый
ОФ-6-750 ов	32	10	185	—	82	215	140	750	5,0	Овальный
ОФ-10-375	30	10	120	82	68	—	—	375	1,5	С внутренней арматурой
ОФ-10-375 кр	31	10	190	108	62	—	—	375	2,6	Круглый
ОФ-10-375 ов	32	10	190	—	62	160	110	750	2,87	Овальный
ОФ-10-750	30	10	120	102	68	—	—	750	2,1	С внутренней арматурой
ОФ-10-750 кр	31	10	215	130	82	—	—	750	4,47	Круглый
ОФ-10-750 ов	32	10	215	—	82	215	140	750	5,38	Овальный
ОФ-10-1250 кв	33	10	225	—	98	175	140	1250	7,9	Квадратный
ОФ-10-2000	30	10	134	160	110	—	—	2000	6,3	С внутренней арматурой
ОФ-10-2000 кв	33	10	235	—	128	190	155	2000	11,6	Квадратный
ОФ-10-3000	30	10	134	180	180	—	—	3000	0,6	С внутренней арматурой
ОФ-10-4250 кв	33	10	230	—	180	210	180	4250	10,0	Квадратный
ОФ-10-6000	34	10	250	220	200	—	—	6000	22,0	С внутренней арматурой
ОФР-10-750	35	10	124	115	—	—	—	750	3,0	С внутренней арматурой
ОФ-20-375	30	20	210	100	95	—	—	375	4,7	То же
ОФ-20-375 кр	31	20	295	130	100	—	—	375	5,4	Круглый
ОФР-20-750	35	20	160	160	—	—	—	750	1,5	С внутренней арматурой
ОФ-20-2000 кв	33	20	315	—	170	220	175	2000	16,1	Квадратный

ОФ-20-3000	30	20	206	186	90	—	—	3000	13,6	С внутренней арматурой
ОФ-20-4250 кв	33	20	305	—	200	255	208	4250	12,0	Квадратный
ОФ-35-375	36	35	372	110	110	—	—	375	7,1	С внутренней арматурой
ОФ-35-375 кр	31	35	380	136	120	—	—	375	8,7	Круглый
ОФ-35-375 ов	32	35	380	—	120	215	170	375	8,0	Овальный
ОФ-35-750	36	35	372	140	130	—	—	750	10,6	С внутренней арматурой
ОФ-35-750 кв	33	35	400	—	150	190	155	750	13,0	Квадратный
ОФ-35-1250 кв	33	35	400	—	160	180	140	1250	13,5	То же
ОФ-35-2000 кв	33	35	412	—	175	206	160	2000	14,0	»

Таблица 36

Основные размеры и характеристики опорно-штыревых изоляторов для наружных установок

Тип изолятора	Номер рисунка	Номинальное напряжение, *кв*	Основные размеры, *мм*				Наименьшая разрушающая нагрузка на изгиб (не менее), *кГ*	Материал	Вес 1 шт. (не более), *кг*	Арматура
			H	*D*	d_1	d_2				
ОНШ-6-300	37	6	170	140	92	78	350	Фарфор	2,5	Штыри чугунные и колпаки чугунные
ОНШ-10-500	37	10	190	160	106	100	500	То же	4,2	
ОНШ-10-2000	37*	10	210	250	150	120	2000	»	12,7	
ОНШ-35-1000	38	35	400	370	170	170	1000	»	32,6	
ОНШ-35-2000	39	35	400	430	175	175	2000	»	44,6	
ОС-1	38*	35	280	360	360	200	1250	»	28,4	
ШН-6с	37	6	170	140	92	78	350	Стекло	2,5	
ШН-10с	37	10	190	185	105	80	500	То же	4,0	

* Истинные изображения изоляторов ОНШ-10-2000 и ОС-1 отличаются несущественными деталями от конструкций, представленных на рис. 37 и 38.

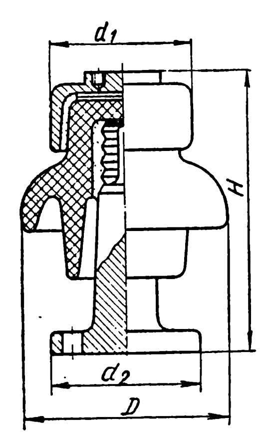


Рис. 37 Опорно-штыревой изолятор ОНШ-6-300 ОНШ-10-500 и ОНШ-10-2000

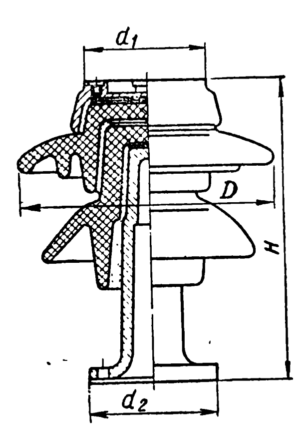


Рис. 38. Опорно-штыревой изолятор ОНШ-35-1000 (ШТ-35)

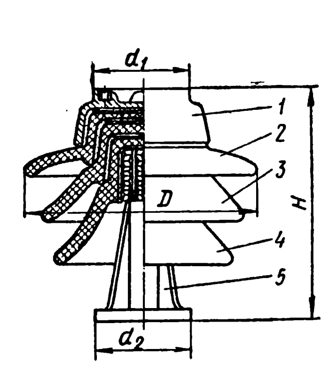


Рис. 39. Опорно-штыревой изолятор ОНШ-35-2000

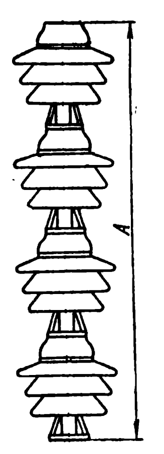


Рис. 40. Колонка из четырех опорно-штыревых изоляторов типа ОНШ-35-2000 на напряжение 150 *кв*

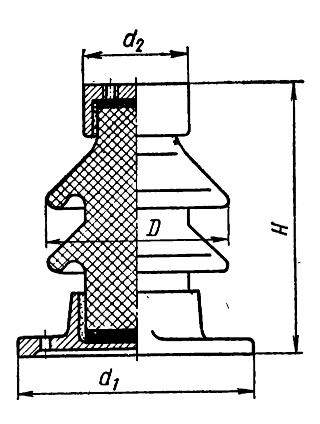


Рис. 41. Опорно-стержневой изолятор ОНС-10-300 и ОНС-10-500

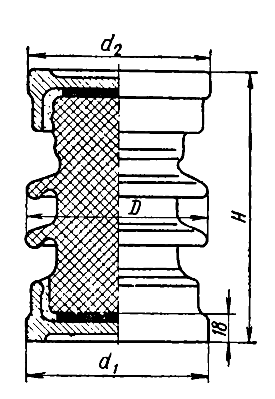


Рис. 42. Опорно-стержневой изолятор ОНС-10-2000

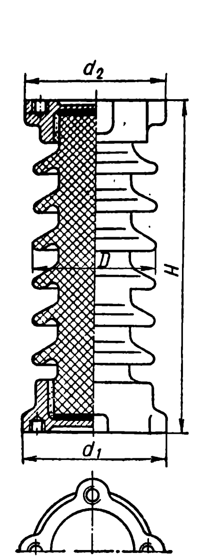


Рис. 43. Опорно-стержневой изолятор ОНС-20-500 и ОНС-35-500

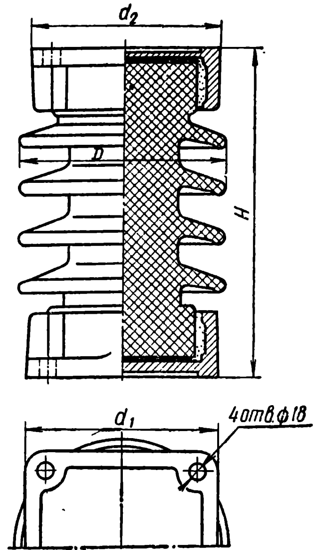


Рис. 44. Опорно-стержневой изолятор ОНС-20-1000 и ОНС-20-2000

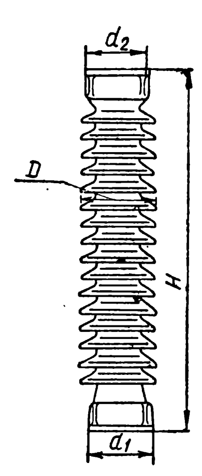


Рис. 45. Опорно-стержневой изолятор ОНС-110-300; ОНС-110-500; ОНС-110-1000 и ОНС-110-2000

ны, составленные из нескольких изоляторов. Основные размеры и характеристики опорно-стержневых изоляторов представлены в табл. 37. Опорно-штыревые и опорно-стержневые изоляторы могут работать при температурах от —45 до +50° С.

Таблица 37

Основные размеры и характеристики опорно-стержневых фарфоровых изоляторов для наружных установок

Тип изолятора	Номер рисунка	Номинальное напряжение, *кв*	Основные размеры, *мм*				Наименьшая разрушающая нагрузка (не менее), *кГ*	Вес 1 шт. (не более), *кг*	Форма фланца
			H	D	d_1	d_2			
ОНС-10-300	41	10	175	120	140	64	300	2,7	Овальный
ОНС-10-500	41	10	170	140	160	70	500	4,5	То же
ОНС-10-2000	42	10	284	200	204	204	2000	13	Квадратный
ОНС-20-500	43	20	315	150	170	170	500	9,5	Круглый
ОНС-20-1000	44	20	360	160	180	180	1000	15,5	Квадратный
ОНС-20-2000	44	20	355	200	204	200 кр	2000	20,0	То же
ОНС-35-500	43	35	420	175	170	170	500	14,9	Круглый
ОНС-35-1000	44	35	570	230	204	204	1000	46,0	Квадратный
ОНС-35-2000	44	35	500	225	227	204	2000	43,5	То же
ОНС-110-300	45	110	1050	200	204	170	300	42	»
ОНС-110-500	45	110	1100	225	204	204	500	68	»
ОНС-110-1000	45	110	1060	230	227	227	1000	75	»
ОНС-110-2000	45	110	1100	230	234	204	1000	38	»
КО-400С	44	35	500	230	204	204	1000	42	»

§ 31. Проходные изоляторы

Эти изоляторы применяют для вывода проводов высокого напряжения из баков трансформаторов, масляных и воздушных выключателей, а также для изоляции проводов, проходящих через стены зданий. Проходные изоляторы (рис. 46—57) состоят из фарфорового элемента *3*, через внутреннюю полость которого проходит токоведущий металлический стержень *1* круглого или прямоугольного сечения (шина), или группа шин — в шинных проходных изоляторах (см. рис. 48). Для крепления проходного изолятора на крышке бака или на стене он снабжен чугунным фланцем *4* (см. рис. 46). Последний соединен с фарфоровым элементом с помощью цементно-песчаного состава. Токоведущий стержень, или шина, крепится в металлических центрирующих шайбах *2* и *5* (см. рис. 46) или в колпаках (рис. 52). Колпаки наклеивают на фарфоровый элемент с помощью цементно-песчаного состава. Проходные изоляторы на токи до 2000 *а* выпускают с алюминиевыми токоведущими шинами. На токи от 2000 *а* и выше — без токоведущих шин. Встраивание и закрепление токоведущих частей в изоляторы производится непосредственно на монтажных участках. Проходные изоляторы могут работать на высоте до 1000 *м* над уровнем моря в интервале температур от —45° С до +40° С при относительной влажности до 85%.

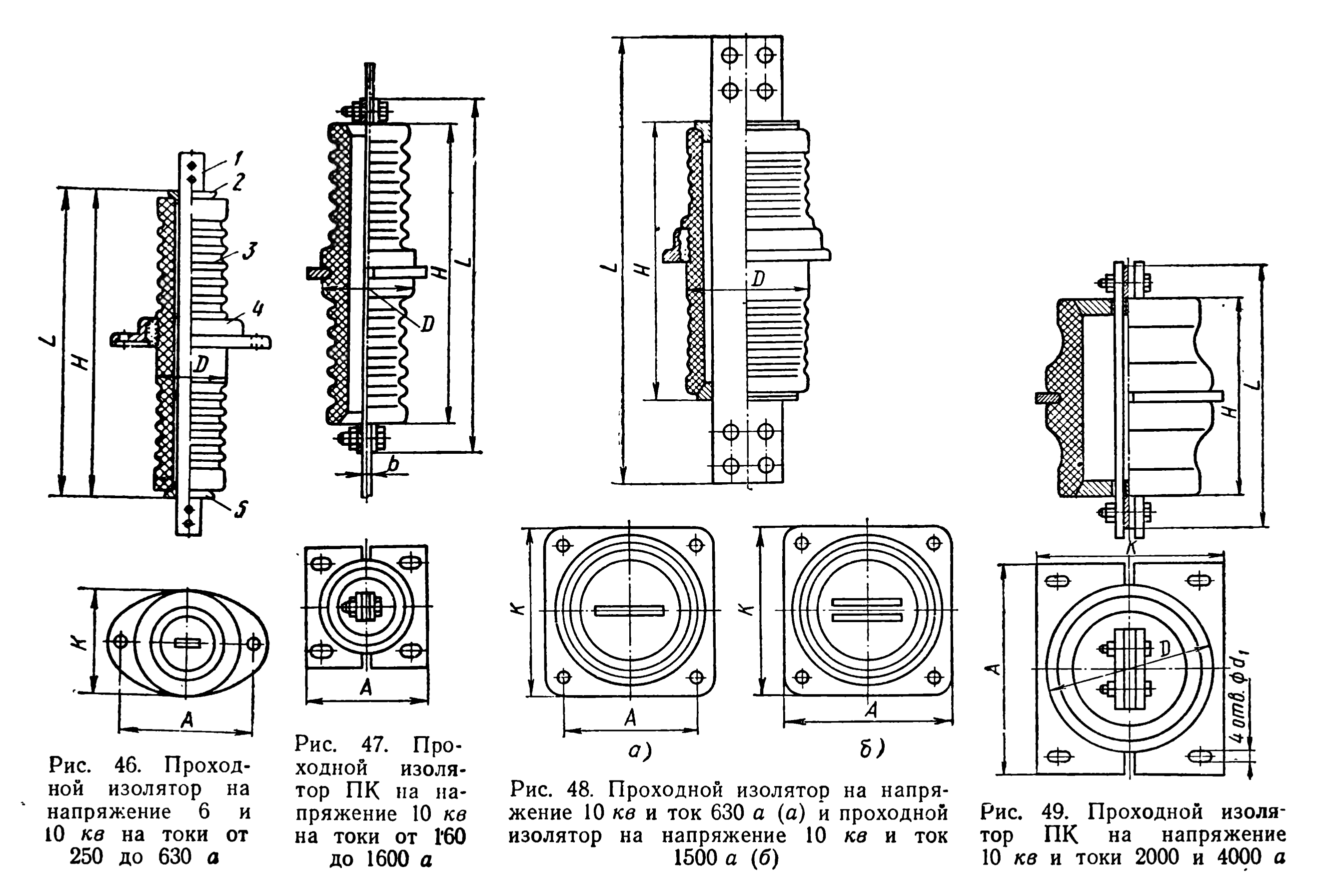
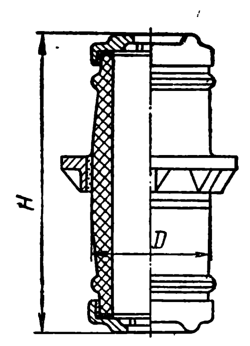


Рис. 46. Проходной изолятор на напряжение 6 и 10 *кв* на токи от 250 до 630 *а*

Рис. 47. Проходной изолятор ПК на напряжение 10 *кв* на токи от 160 до 1600 *а*

Рис. 48. Проходной изолятор на напряжение 10 *кв* и ток 630 *а* (*а*) и проходной изолятор на напряжение 10 *кв* и ток 1500 *а* (*б*)

Рис. 49. Проходной изолятор ПК на напряжение 10 *кв* и токи 2000 и 4000 *а*



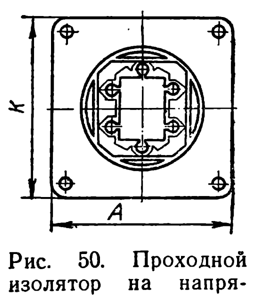


Рис. 50. Проходной изолятор на напряжение 10 *кв* и токи 1000, 1600, 2000, 3200 *а*

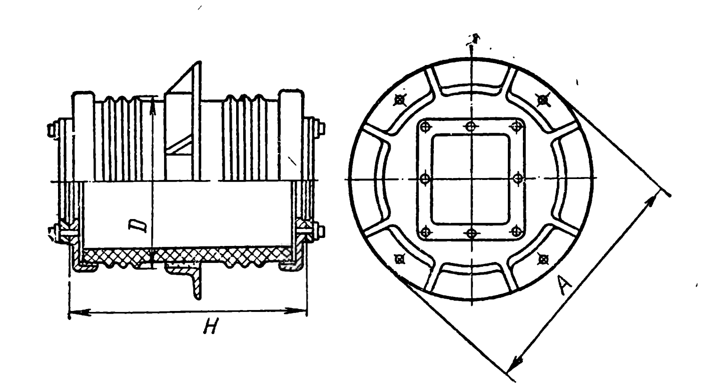


Рис. 51. Проходной изолятор на напряжение 10 и 20 *кв* и токи 5000, 6000, 8000, 10 000 и 12 500 *а*

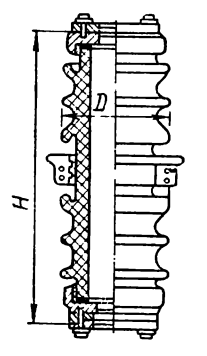




Рис. 52. Проходной изолятор на напряжение 20 *кв* и токи 3200, 6300, 8000 *а*

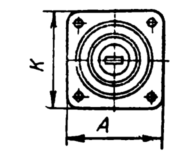


Рис. 53. Проходной изолятор на напряжение 35 *кв* и токи 400, 630 и 1000 *а*



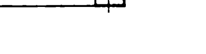




Рис. 54. Проходной изолятор ПН для наружных установок на напряжения 10 *кв* и токи 400. 630, 1000 и 2000 *а*

В обозначениях типов изоляторов буквы обозначают: П — проходной; ПК — проходной для комплектно-распределительных устройств; цифры в числителе — номинальное напряжение (*кв*); цифры в знаменателе — номинальный ток (*а*); числа, стоящие после дроби, означают минимальное разрушающее усилие при изгибе изолятора.

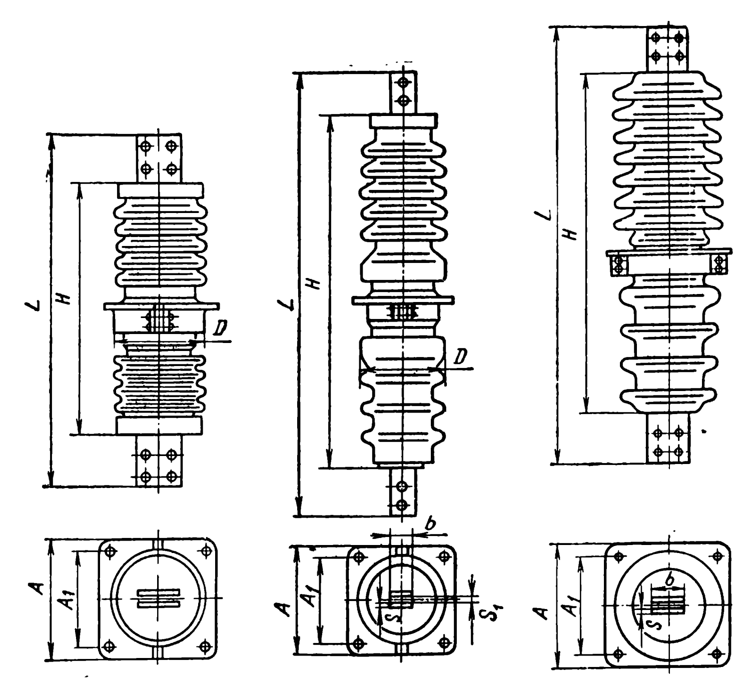


Рис. 55. Проходной изолятор ПН для наружных установок на напряжение 20 *кв* и токи 2000 и 3200 *а*

Рис. 56. Проходной изолятор ПН для наружных установок на напряжение 35 *кв* и токи 400, 630 и 1000 *а*

Рис. 57. Проходной изолятор ПНУ для наружных установок на напряжение 35 *кв* и токи 400, 630, 1000 и 1600 *а*

Проходные изоляторы для наружных установок (рис. 54—57) имеют далеко выступающие ребра (крылья). Они защищают от дождя расположенные под ними части изолятора. Проходные изоляторы могут работать в установках при температурах от —45 до +40° С при высоте установки не более 1000 *м* над уровнем моря.

В обозначениях типов проходных изоляторов для наружных установок буквы и числа, стоящие за буквами, означают то же, что и в обозначениях типов проходных изоляторов для внутренних установок. В обозначение вводится еще буква Н, указывающая, что изолятор наружной установки, и буква У — усиленная внешняя изоляция. Арматура проходных изоляторов (фланцы, шайбы и др.) изготавливается из немагнитных материалов (на токи менее 1500 *а* — из

Таблица 38

Основные размеры и характеристики проходных фарфоровых изоляторов для внутренних установок

Тип изолятора	Номер рисунка	Номинальное напряжение, *кв*	Номинальный ток, *а*	Основные размеры, *мм*					Наименьшая разрушающая нагрузка на изгиб (не менее), *кГ*	Вес 1 шт. (не более), *кг*
				L	*H*	*D*	*A*	*K*		
П-6/250-375	46	6	250	400	260	85	160	110	375	3,4
П-6/400-375	46	6	400	400	260	85	160	110	375	3,52
ПК-10/160-180	47	10	160	290	230	70	90	—	180	1,2
ПК-10/250-180	47	10	250	290	230	70	90	—	180	1,4
ПК-10/400-180	47	10	400	290	230	88	110	—	180	1,7
П-10/400-750	46	10	400	450	310	100	205	130	750	5,5
П-10/630-750	46	10	630	450	310	100	205	130	750	5,7
П-10/1000-750	48*а*	10	1000	500	310	135	190	40	750	7,2
П-10/1600-750	48*б*	10	1600	500	310	135	190	40	750	8,0
ПК-10/1600-750	47	10	1600	290	250	160	200	—	750	5,0
ПК-10/2000-2000	49	10	2000	330	250	210	265	235	2000	9,5
ПК-10/4000-2000	49*	10	4000	350	250	280	355	320	2000	13,5
П-10/1000-3000	50	10	1000	—**	488	205	305	305	3000	32,6
П-10/1600-3000	50	10	1600	—	488	205	305	305	3000	32,6
П-10/2000-3000	50	10	2000	—	488	205	305	305	3000	32,6
П-10/3200-3000	50	10	3200	—	488	205	305	305	3000	32,6
П-10/1000-2000	50	10	1000	—	480	155	240	240	3000	18,4
П-10/2000-2000	50	10	2000	—	480	155	240	240	4250	18,4
П-10/5000-4250	51	10	5000	—	640	380	555	—	4250	76,5
П-10/6000-4250	51	10	6000	—	640	380	555	—	4250	75,0
П-10/8000-4250	51	10	8000	—	615	380	555	—	4250	72,0
П-10/10000-4240	51	10	10000	—	615	380	555	—	4250	33,0
П-20/1000-2000	50	20	1000	—	726	205	305	305	2000	33,0
П-20/1600-2000	50	20	1600	—	726	205	305	305	2000	33,0
П-20/2000-2000	50	20	2000	—	726	205	305	305	2000	33,0
П-20/3200-2000	52	20	3200	—	770	265	322	322	2000	47,0
П-20/6300-3000	52	20	6300	—	745	265	360	360	3000	47,0
П-20/8000-4250	51	20	8000	—	930	550	660	—	4250	140,0
П-20/10000-4250	51	20	10000	—	930	550	660	—	4250	140,0
П-20/12500-4250	51	20	12500	—	930	550	660	—	4250	135,0
П-35/400-750	53	35	400	910	770	190	250	250	750	32,5
П-35/630-750	53	35	630	950	770	190	250	250	750	32,35
П-35/1000-750	53	35	1000	1010	785	220	260	260	750	36,0

* Некоторые изоляторы отличаются от представленных на рисунках несущественными деталями (количеством ребер и др.)

** Эги изоляторы поставляются без шин (*L*—длина шин в изоляторе), поэтому в 5-й графе числа отсутствуют.

Таблица 39

Основные размеры и характеристики проходных фарфоровых изоляторов для наружных установок

Тип изолятора*	Номер рисунка	Номинальное напряжение, *кв*	Номинальный ток, *а*	Основные размеры, *мм*					Наименьшая разрушающая нагрузка на изгиб (не менее), *кГ*	Вес 1 шт. (не более), *кг*	Токоведущий элемент (алюминиевые шины)
				L	*H*	*D*	*A*¹	*A*			
ПН-10/400-750	54	10	400	560	395	110	175	215	750	6,7	Одна шина 40×4 *мм*
ПН-10/630-750	54	10	630	580	395	110	175	215	750	7,1	Одна шина 50×6 *мм*
ПН-10/1000-750	54	10	1000	580	395	110	175	215	750	7,6	Две шины 50×6 *мм*
ПН-10/2000-1250	54	10	2000	650	415	140	155	205	1250	12,0	Две шины 60×8 *мм*
ПН-20/2000-1250	55	20	2000	886	636	240	220	270	1250	34,7	Две шины 100×8 *мм*
ПН-20/3200-1250	55	20	3200	886	636	240	220	270	1250	38,0	Две шины 100×10 *мм*
ПН-35/400-750	56	35	400	1020	850	200	200	250	750	34	Одна шина 40×4 *мм*
ПН-35/630-750	56	35	630	1040	850	200	200	250	750	36	Одна шина 50×6 *мм*
ПН-35/1000-750	56	35	1000	1080	850	225	200	260	750	38	Две шины 50×6 *мм*
ПНУ-35/400-750	57	35	400	1030	840	195	210	260	750	34,0	Одна шина 40×4 *мм*
ПНУ-35/630-750	57	35	630	1030	840	195	210	260	750	36,0	Одна шина 50×6 *мм*
ПНУ-35/1000-750	57	35	1000	1070	840	195	210	260	750	36,6	Две шины 50×8 *мм*
ПНУ-35/1600-750	57	35	1600	1070	840	235	240	300	750	37,4	Две шины 80×8 *мм*

* В установках с номинальным напряжением 6 *кв* должны применяться изоляторы, рассчитанные на напряжение 10 *кв*

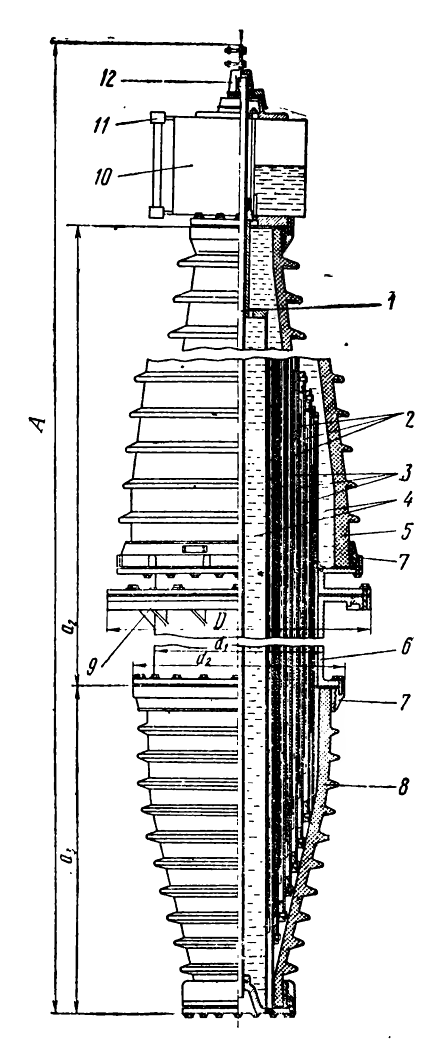


Рис. 58. Ввод с масляно-барьерной изоляцией и с фланцами на напряжение 220 *кв* для масляных выключателей:

1 — медная токоведущая труба, *2* — бумажные бакелитизированные цилиндры, *3* — уравнительные обкладки из алюминиевой фольги, *4* — трансформаторное масло, *5* — верхняя фарфоровая покрышка, *6* — металлическая соединительная втулка, *7* — чугунный фланец, *8* — нижняя фарфоровая покрышка, *9* — фланец, *10* — расширитель, *11* — указатель уровня масла, *12* — контактный зажим

чугуна специальных марок) и из силумина. В табл. 38 приведены основные размеры и характеристики проходных изоляторов для внутренних установок. В табл. 39 приведены основные размеры и характеристики проходных изоляторов для наружных установок.

§ 32. Маслонаполненные фарфоровые вводы

Вводы представляют собой маслонаполненные фарфоровые проходные изоляторы больших габаритов. Вводы предназначаются для вывода проводов высокого напряжения из баков трансформаторов, масляных выключателей, реакторов, а также для прохода проводов высокого напряжения через стены зданий (линейные вводы). Вводы выпускаются на номинальные напряжения 110, 150, 220, 330 и 500 *кв* и на токи от 200 до 2000 *а* включительно.

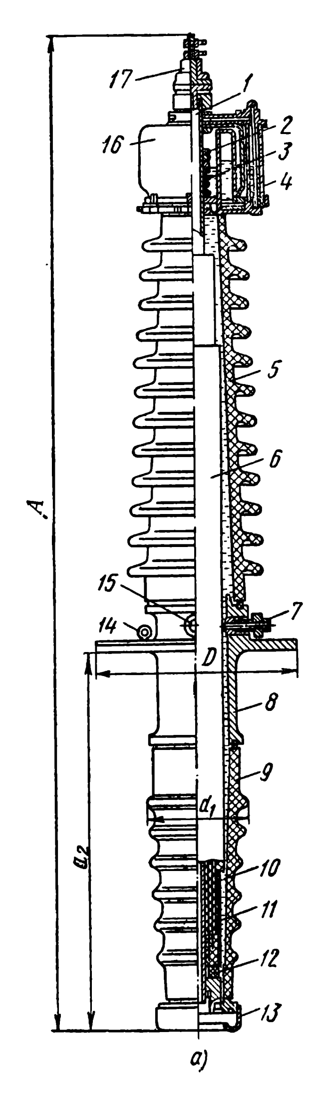
Фарфоровые вводы выпускают с внутренней масляно-барьерной изоляцией и с бумажно-масляной изоляцией. Ввод с масляно-барьерной изоляцией (рис. 58) состоит из медной токоведущей трубы *1*, на которой помещается изоляционный каркас[1] из концентрически расположенных бумажных бакелитизированных цилиндров *2*. На поверхности цилиндров располагаются уравнительные обкладки *3* из алюминиевой фольги. Они необходимы для выравнивания распределения электрического потенциала внутри вводов и на его поверхности. На уравнительные обкладки накладывается изоляционная обмотка из кабельной бумаги.

Пространство между концентрически расположенными бакелитизированными цилиндрами заполнено минеральным (изоляционным) маслом, которое выполняет роль изоляции и теплоотводящей среды. Масло удерживается во внутреннем пространстве ввода, образованном двумя фарфоровыми покрышками *5* и *8*, герметически соединенными друг с другом при помощи фланцев *7* и стальной (или чугунной) соединительной втулки *6*. В вводах с масляно-барьерной изоляцией основной изоляцией является масло, а дополнительной — цилиндры из бакелитизированной бумаги. В вводах с фланцевым креплением (см. рис. 58) фарфоровые покрышки *5* и *8* соединяются с втулкой *6* при помощи эластичных прокладок (маслоупорная резина) и стягивающих болтов. Каждый ввод снабжен расширителем *10*, который является дополнительным резервуаром для масла при увеличении или уменьшении его объема при изменении температуры. На расширителе имеется указатель *11* уровня масла во вводе. Расширители имеют устройство (гидравлический затвор), исключающее соприкосновение масла с окружающей атмосферой. Для присоединения токоведущей шины к вводу в верхней части его имеется контактный зажим *12* с отверстием для болтов.

В вводах для трансформаторов предусмотрено присоединение кабеля, протянутого через токоведущую трубу, к зажиму *12*.

---

[1] На вводах 220 *кв* и выше каркас помещается не непосредственно на токоведущей трубе, а на изоляционном цилиндре, закрепленном на трубе. Цилиндр имеет бо́льший диаметр по сравнению с токоведущей трубой, что обеспечивает свободную циркуляцию масла.



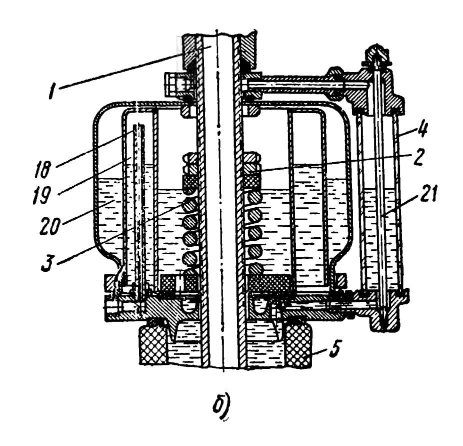


Рис. 59. Ввод с бумажно-масляной изоляцией без фланцев на напряжение 110 *кв*:

а — общий вид ввода, *б* — маслорасширитель ввода; *1* — токоведущая труба, *2* — стягивающие гайки, *3* — компенсирующая пружина, *4* — маслоуказатель, *5* — верхняя фарфоровая покрышка, *6* — обмотка из кабельной бумаги, *7* — вывод, *8* — соединительная втулка, *9* — нижняя фарфоровая покрышка, *10* — уравнительные обкладки из алюминиевой фольги, *11* — опорный цилиндр, *12* — гетинаксовая шайба, *13* — экран нижний, *14* — рым-болт, *15* — отводная трубка для взятия проб масла, *16* — расширитель, *17* — контактный зажим, *18* — дыхательная трубка, *19* — камера, сообщающаяся с атмосферой, *20* — гидравлический затвор, *21* —стягивающая шпилька

В трансформаторных вводах на 500 *кв* кабель от обмотки трансформатора присоединяется к нижней части токоведущей трубы.

В нижней части вводов для масляных выключателей предусмотрена возможность закрепления гасительной камеры. На нижней части вводов для трансформаторов (рис. 59) устанавливается металлический экран *13*.

Для крепления ввода на крышке трансформатора, масляного выключателя или на стене, на соединительной втулке *8* ввода имеется опорная поверхность, диаметр которой больше диаметра цилиндрической части соединительной втулки. На опорной поверхности соединительной втулки *8* имеются рым-болты *14* или грузовые стальные косынки с отверстиями в них.

Верхние покрышки вводов, работающие в воздухе, имеют значительно большую длину по сравнению с нижними покрышками, работающими в масле.

Вводы, предназначенные для работы в районах с загрязненной атмосферой, имеют усиленную внешнюю изоляцию, для чего верхняя покрышка имеет увеличенную высоту или развитые ребра (крылья). У вводов для трансформаторов верхние покрышки имеют на своей поверхности крылья, а нижние снабжены небольшими малыми ребрами или имеют гладкую поверхность.

Вводы с масляно-барьерной изоляцией имеют увеличенные габариты, поэтому заменяются вводами с бумажно-масляной изоляцией, имеющими меньшие габариты.

В вводах с бумажно-масляной изоляцией (рис. 59, *а*) основной изоляцией является обмотка из кабельной бумаги, помещенная на трубе ввода. Бумажная обмотка разделена на тонкие (1—2 *мм*) слои уравнительными обкладками *10* из алюминиевой фольги.

Нижняя и верхняя фарфоровые покрышки составляют внешнюю изоляцию ввода и одновременно являются резервуаром для масла, заполняющего ввод. Фарфоровые покрышки соединены друг с другом соединительной металлической втулкой. Герметичность вводов достигается применением уплотняющих прокладок из маслоупорной резины и других эластичных материалов, стойких к воздействию минерального масла.

По способу соединения фарфоровых покрышек с металлическими частями различают вводы с фланцевым креплением покрышек (см. рис. 58) и вводы с бесфланцевым креплением покрышек (см. рис. 59). В вводах с бесфланцевым креплением покрышек плотное соединение их с втулкой и другими деталями ввода достигается стягиванием их гайками, которые навинчиваются на токоведущую трубу через компенсирующую спиральную пружину *3* (рис. 59, *б*), находящуюся внутри расширителя ввода. Современные конструкции вводов имеют бесфланцевое крепление фарфоровых покрышек. Конструкция расширителя исключает соприкосновение масла с наружным воздухом благодаря наличию в нем гидравлического затвора, представленного на рис. 59, *б*. На рисунке видно, что объем расширителя сообщается с объемом гидравлического затвора. Последний имеет сообщение (через слой масла) с объемом камеры, которая сообщается с наружным воздухом через дыхательную трубку *18*. Расширитель снабжен маслоуказателем, состоящим из стеклянного цилиндра и двух металлических держателей, соединенных со стеклянным цилиндром при помощи эластичных прокладок и стягивающего стального стержня *21*.

В верхней части соединительной втулки *8* (рис. 59, *а*) над ее опорной поверхностью располагается изолированный вывод *7*, через

который выведен наружу провод, припаянный к внешней обкладке бумажно-масляной изоляции ввода. Вывод необходим для измерения тангенса угла диэлектрических потерь ($\operatorname{tg} \delta$) бумажно-масляной изоляции и емкости ввода.

Во все время работы ввода этот вывод электрически соединен с соединительной втулкой *8* ввода.

На верхней части соединительной втулки *8* ввода помещается маслоотборное устройство, состоящее из штуцера *15*, который заканчивается трубкой, помещающейся внутри ввода. Маслоотборное устройство необходимо для взятия проб масла при профилактических испытаниях без демонтажа вводов. Снаружи нижняя часть ввода закрыта металлическим экраном *13*. Для присоединения провода к вводу имеется контактный зажим *17* (с болтами), навернутый на трубу *1* ввода.

У вводов с потенциометрическим устройством имеются изолированные выводы для подключения прибора измерения напряжения (ПИН). У этих вводов имеется дополнительная емкость C_2 в виде цилиндрического бумажно-масляного конденсатора, намотанного на основной изоляционный остов ввода. Одна обкладка емкости C_2 заземлена (через соединительную втулку ввода), а вторая соединена с изолированным выводом, расположенным рядом с выводом для измерения C_1 основной изоляции ввода.

Вводы могут быть использованы в наружных открытых установках при температурах от —45 до +45° С, при высоте установок не более 1000 *м* над уровнем моря (для вводов 110—330 *кв*), и не более 500 *м* — для вводов на напряжение 500 *кв*.

В условных обозначениях типов вводов буквы обозначают следующее: МБ — масляно-барьерная внутренняя изоляция ввода, БМ — бумажно-масляная внутренняя изоляция ввода, Т — для силовых трансформаторов и реакторов, В — для масляных выключателей, Л — для прохода через стены и перекрытия зданий, П — с измерительным конденсатором, предназначенным для подключения, приспособлений для измерения напряжения (ПИН), У — в усиленном исполнении внешней изоляции, О — масло во внутренней полости ввода сообщается с маслом в трансформаторе или в реакторе (маслоподпорные вводы), Г — герметичный ввод, масло которого и вся внутренняя изоляция ввода полностью изолирована от внешней среды.

В негерметичных вводах их внутренняя изоляция (масло) имеет сообщение с окружающей средой через масляный затвор, помещающийся в расширителе ввода (рис. 59, *б*).

В цифровых обозначениях типов вводов (110/600; 110/1000; 110/1500; 220/200; 220/600 и др.) числитель указывает номинальное напряжение ввода в киловольтах, а знаменатель — номинальный ток в амперах.

Пример условного обозначения ввода: $\frac{\text{БМВП}}{15}$ — 220/1000 — У — ввод с бумажно-масляной изоляцией для масляных выключателей с выводом для подключения ПИН, допускающий установку под углом до 15° к вертикали на номинальное напряжение 220 *кв* и ток 1000 *а* для работы в районах с загрязненной атмосферой (усиленная изоляция).

Основные конструкции вводов показаны на рис. 58—67, а основные размеры и характеристики вводов даны в табл. 40—42.

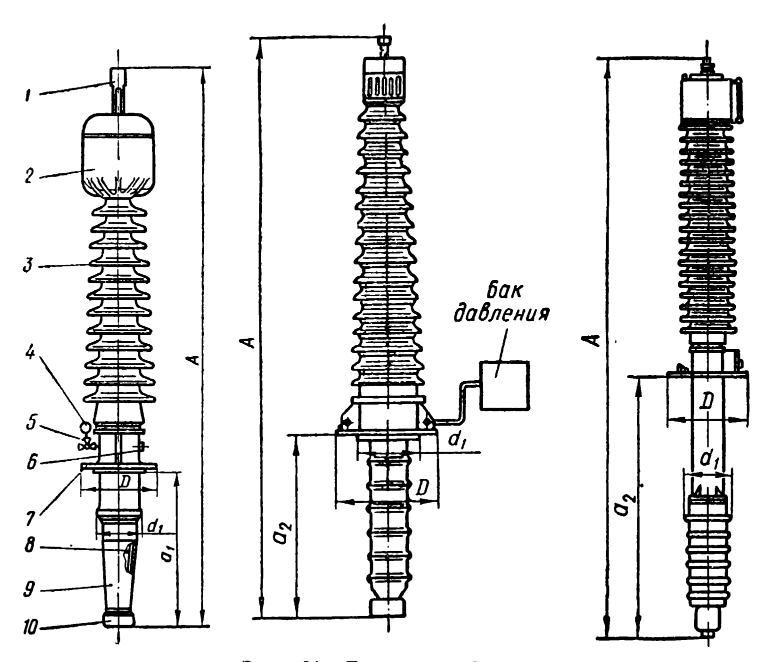
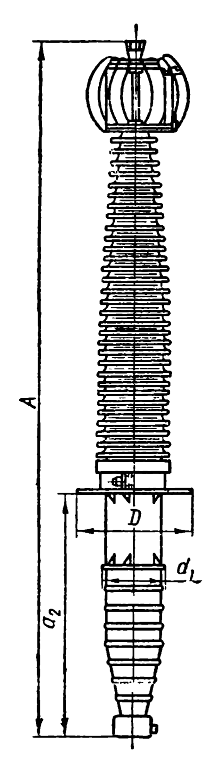


Рис. 60. Герметичный ввод с бумажно-масляной изоляцией без фланцев на напряжение 110 *кв*:

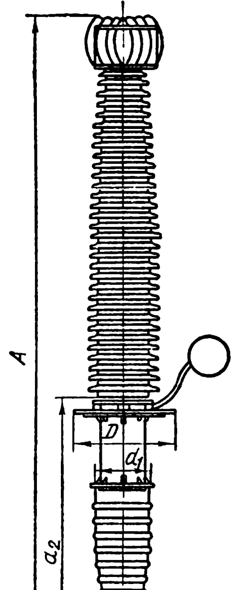
1 — клемма контактная, *2* — корпус компенсатора, *3* — покрышка фарфоровая верхняя, *4* — манометр, *5* — вентиль, *6* — вывод для измерения tg δ, *7* — втулка соединительная, *8* — остов (сердечник) изоляционный, *9* — покрышка фарфоровая нижняя, *10* — экран

Рис. 61. Герметичный ввод с выносным баком давления с бумажно-масляной изоляцией без фланцев на напряжения 132 и 220 *кв*

Рис. 62. Негерметичный ввод с бумажно-масляной изоляцией без фланцев с ПИНом на напряжение 330 *кв*



← Рис. 63. Негерметичный ввод с бумажно-масляной изоляцией без фланцев на напряжение 500 *кв*



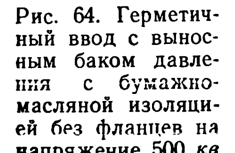


Рис. 64. Герметичный ввод с выносным баком давления с бумажно-масляной изоляцией без фланцев на напряжение 500 *кв*

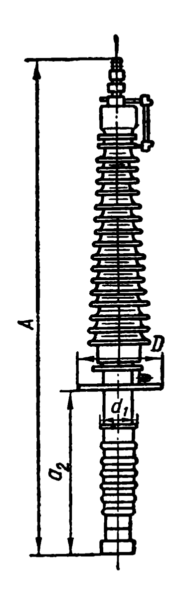
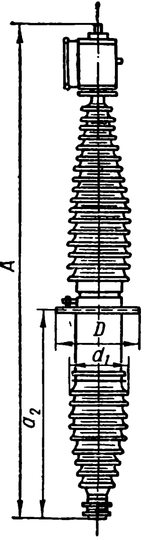


Рис. 65. Негерметичный ввод с бумажно-масляной изоляцией без фланцев на напряжения 110 и 220 *кв* для масляных выключателей



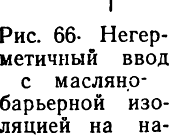


Рис. 66. Негерметичный ввод с масляно-барьерной изоляцией на напряжение 220 *кв* для масляных выключателей

Таблица 40

Маслонаполненные фарфоровые вводы для трансформаторов

Тип ввода	Номер рисунка	Номинальное напряжение, *кв*	Номинальный ток, *а*	Основные размеры, *мм*				Емкость ввода, *пф*	Вес ввода, *кг*	Общая характеристика ввода
				A	a_1	D	d_1			
$\frac{ГБМТ}{0 \div 45}$—110/630	60	110	630	2390	663	350	180	220	136	Герметичный ввод со встроенными сильфонами
$\frac{ГБМТ}{0 \div 45}$—110/630у	60	110	630	2490	663	350	180	220	156	То же, но с усиленной внешней изоляцией
$\frac{БМТ}{15}$—110/630	59	110	630	2540	970	535	255	200	250	Негерметичный ввод
$\frac{БМТ}{15}$—110/630у	59	110	630	2860	970	535	255	200	275	То же, но с усиленной внешней изоляцией
$\frac{БМТ}{15}$—110/{1000, 1500, 2000}	59	110	1000 1500 2000	2575	1035	528	280	384	201	Негерметичные вводы, отличающиеся контактными клеммами
$\frac{БМТ}{15}$—110 {1000, 1500, 2000}—у	59	110	1000 1500 2000	2695	1035	528	280	384	225	То же, но с усиленной внешней изоляцией
$\frac{ГБМТ}{0 \div 45}$—132/200	61	132	200	2880	1080	530	280	331	360	Герметичный ввод с выносным баком давления

$\frac{БМТ}{15}$—132/630у	59	132	630	3260	970	620	290	315	418	Негерметичный ввод с усиленной внешней изоляцией
$\frac{ГБМТ}{0 \div 45}$—132/1000	61	132	1000	3050	1090	530	345	536	480	Герметичный ввод с выносным баком давления
$\frac{ГБМТ}{0 \div 45}$—132/1600	61	132	160	3050	1090	530	345	536	480	То же
$\frac{БМТ}{45}$—150/1000	59	150	1000	3115	1075	685	290	330	433	Негерметичный ввод
$\frac{БМТ}{45}$—150/1000у	59	150	1000	3750	1180	685	315	310	590	То же, но с усиленной внешней изоляцией
$\frac{БМТ}{45}$—150/1500	59	150	1500	3040	895	685	290	290	332	Негерметичный ввод
$\frac{ГБМТ}{0 \div 45}$—220—400	61	220	400	4185	1380	460	440	543	810	Герметичный ввод с выносным баком давления
$\frac{ГБМТ}{0 \div 45}$—220/400—у	61	220	400	4380	1380	760	440	543	893	То же, но с усиленной внешней изоляцией
$\frac{ГБМТ}{0 \div 45}$—220/1400	61	220	1400	4230	1380	760	440	543	812	Герметичный ввод с выносным баком давления
$\frac{БМТП}{45}$—220/1400	62	220	1400	4930	1905	760	400	260	811	Негерметичный ввод с ПИНом
$\frac{БМТП}{45}$—220/1400у	62	220	1400	5515	1905	760	392	577	1150	То же, но с усиленной внешней изоляцией

Таблица 40 (продолжение)

Тип ввода	Номер рисунка	Номинальное напряжение, *кв*	Номинальный ток, *а*	Основные размеры, *мм*				Емкость ввода, *пф*	Вес ввода, *кг*	Общая характеристика ввода
				A	a_1	D	d_1			
$\frac{ГБМТ}{0 \div 45}$—220/2000	60	220	2000	4565	1380	760	440	543	848	Герметичный ввод со встроенными компенсаторами
$\frac{ГБМТ}{0 \div 45}$—220/2000у	60	220	2000	4650	1380	760	440	543	923	То же, но с усиленной внешней изоляцией
$\frac{БМТП}{30}$—330/630	62	330	630	5645	2160	820	450	500	1400	Негерметичный ввод с ПИНом
$\frac{БМТП}{45}$—330/1000у	62	330	1000	6800	2160	820	455	490	1750	То же, но с усиленной внешней изоляцией
$\frac{БМТП}{15}$—500/630	63	500	630	9015	3850	1200	640	1100	4000	Негерметичный ввод с ПИНом
$\frac{ГБМТ}{0 \div 45}$—500/300	64	500	300	6965	2204	1130	590	660	3300	Герметичный ввод с выносным баком давления
$\frac{ГБМТ}{0 \div 45}$—500/630	64	500	630	7300	2750	1200	590	603	3116	То же
$\frac{ГБМТП}{0 \div 15}$—500/1600	64	500	1600	7025	2485	1200	590	582	2310	Герметичный ввод с ПИНом

Таблица 41

Маслонаполненные фарфоровые вводы для масляных выключателей

Тип ввода	Номер рисунка	Номинальное напряжение, *кв*	Номинальный ток, *а*	Основные размеры, *мм*				Емкость ввода, *пф*	Вес ввода, *кг*	Общая характеристика ввода
				A	a_2	D	d_1			
$\frac{\text{БМВ}}{15}$—110/630	65	110	630	2700	1130	528	290	180—200	263	Негерметичный ввод с бумажно-масляной изоляцией
$\frac{\text{БМВ}}{15}$—110/1000	65	110	1000	2715	1130	528	245	380—400	200	То же
$\frac{\text{БМВП}}{15}$—110/1000у	65	110	1000	3195	1130	528	275	350—430	316	То же, но с усиленной внешней изоляцией и с ПИНом
$\frac{\text{БМВ}}{15}$—110/2000	65	110	2000	2870	1130	528	270	380—450	220	Негерметичный ввод с бумажно-масляной изоляцией
$\frac{\text{БМВ}}{15}$—110/2000	65	110	2000	2850	1130	550	245	320—440	218	То же
$\frac{\text{МБВ}}{15}$—220/1000	66	220	1000	4920	820	870	530	230—250	1450	Негерметичный ввод с масляно-барьерной изоляцией
$\frac{\text{МБВ}}{15}$—220/2000	66	220	2000	4960	1820	870	530	230—250	1490	То же

Таблица 42

Маслонаполненные фарфоровые линейные вводы

Тип ввода	Номер рисунка	Номинальное напряжение, *кв*	Номинальный ток, *а*	Основные размеры, *мм*				Емкость ввода, *пф*	Вес ввода, *кг*	Общая характеристика ввода
				A	a_2	D	d_1			
$\frac{\text{ГБМЛП}}{0 \div 90}$—110/1000	67	110	1000	3460	1805	528	245	530—580	281	Герметичный ввод с ПИНом и выносным баком давления
$\frac{\text{ГБМЛП}}{0 \div 90}$—110/1000у	67	110	1000	3600	1805	528	245	530—580	313	То же, но с усиленной внешней изоляцией
$\frac{\text{ГБМЛП}}{0 \div 90}$—110/2000	67	110	2000	3490	1820	528	245	530—580	288	Герметичный ввод с выносным баком давления и с ПИНом
$\frac{\text{БМЛП}}{0 \div 90}$—150/630	67	150	630	6720	4827	750×750	370	530—580	1000	То же
$\frac{\text{БМЛ}}{0 \div 90}$—66/1200у	67	66	1200	2530	1296	390	169	530—580	240	Герметичный ввод с выносным баком давления и усиленной внешней изоляцией
$\frac{\text{БМЛП}}{0 \div 90}$—110/2000у	67	110	2000	3630	1820	528	245	530—580	320	Герметичный ввод с выносным баком давления, усиленной внешней изоляцией и с ПИНом

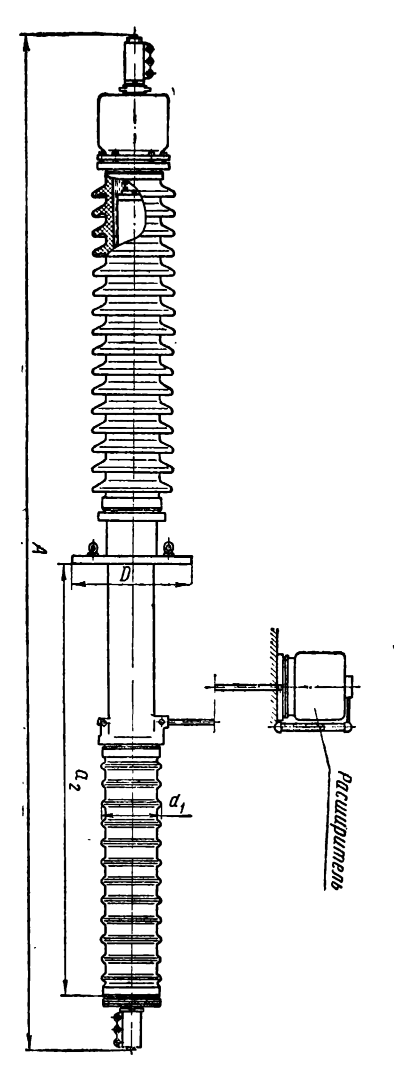


Рис. 67. Линейный негерметичный ввод с бумажно-масляной изоляцией на напряжения 110 и 150 *кв*

§ 33. Общие сведения о конденсаторах

Электрические конденсаторы (рис. 68—69) представляют собой устройства, состоящие из диэлектрика и металлических электродов (обкладок), образующих вместе с диэлектриком электрическую емкость. Емкость всякого конденсатора зависит от геометрических размеров металлических обкладок, диэлектрика и его диэлектрической проницаемости (см. табл. 43).

В системе единиц СИ за единицу емкости принята фарада (*ф*), т. е. емкость такого конденсатора, у которого заряд в 1 *к* вызывает разность потенциалов на его обкладках, равную 1 *в*. Дольные единицы фарады: микрофарада (*мкф*) и пикофарада (*пф*) : 1 *мкф* $= 10^{-6}$ *ф*; 1 *пф* $= 10^{-12}$ *ф*. В системе единиц СГС за единицу емкости принят сантиметр (*см*). Соотношения между единицами СИ и СГС следующие:

$$0{,}9\ \text{см} = 1\ \text{пф} = 1\ \text{мк мкф} = 1{,}10^{-6}\ \text{мкф} = 1{,}10^{-12}\ \text{ф}$$

$$\text{или } 1\ \text{ф} = 10^{6}\ \text{мкф} = 10^{12}\ \text{пф}\ (10^{12}\ \text{мк мкф}) = 9 \cdot 10^{11}\ \text{см}.$$

По конструкции различают конденсаторы плоские с двумя обкладками, плоские с несколькими обкладками (многопластинчатые), цилиндрические с двумя обкладками, цилиндрические с несколькими обкладками и др.

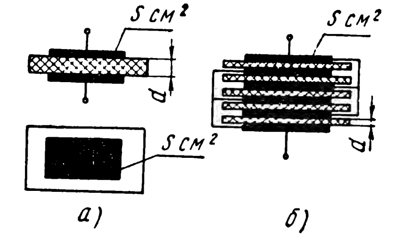


Рис. 68. Конструкции плоских конденсаторов:

а — конденсатор с двумя обкладками (площадь одной обкладки *S*). *б* — многопластинчатый конденсатор (число обкладок *N*)



Рис. 69. Конструкции цилиндрического и спирально намотанного конденсаторов:

а — цилиндрический конденсатор с двумя обкладками. *б* — спиральный конденсатор. *в* — цилиндрический конденсатор с несколькими обкладками

Таблица 43

Формулы для подсчета емкости конденсаторов

Конструктивный тип конденсатора	Величина емкости		
	см	*ф*	*пф*
Плоский с двумя обкладками (рис. 68, *а*)	$C=\frac{\varepsilon S}{4\pi d}=0{,}0796\,\frac{\varepsilon S}{d}$	$C=\frac{\varepsilon_0\varepsilon S}{d}$ или $C=\frac{1}{9\cdot10^{11}}\cdot\frac{\varepsilon S}{4\pi d}$	$C=0{,}0883\,\frac{\varepsilon S}{d}$
Плоский с многими обкладками (рис. 68, *б*)	$C=\frac{\varepsilon S}{4\pi d}\,(N-1)$	$C=\frac{\varepsilon_0\varepsilon S}{d}\,(N-1)$ $C=\frac{1}{9\cdot10^{11}}\cdot\frac{\varepsilon S}{4\pi d}\,(N-1)$	$C=0{,}0883\,\frac{\varepsilon S}{d}\,(N-1)$
Спиральный конденсатор, намотанный из лент диэлектрика, толщиной d (*см*), разделенных прокладками шириной b (*см*) и длиной L (*см*) (рис. 69, *б*)	$C=\frac{2\varepsilon bL}{\pi d}$	$C=\frac{\varepsilon_0\varepsilon bL}{d}$ или $C=\frac{2\varepsilon bL}{9\cdot10^{11}\pi d}$	$C=0{,}1766\,\frac{\varepsilon bL}{d}$
Сферический с двумя концентрическими обкладками (радиусы: r_1 и r_2)	$C=\frac{\varepsilon r_1r_2}{(r_2-r_1)}$	$C=\frac{\varepsilon_0\varepsilon r_1r_2}{(r_2-r_1)}$ или $C=\frac{1}{9\cdot10^{11}}\cdot\frac{\varepsilon r_1r_2}{(r_2-r_1)}$	$C=1{,}111\,\frac{\varepsilon r_1r_2}{(r_2-r_1)}$

Продолжение табл. 43

Конструктивный тип конденсатора	Величина емкости		
	см	*ф*	*пф*
Цилиндрический с двумя обкладками (рис. 69, *а*)	$C=\frac{\varepsilon l}{2\ln\frac{D_2}{D_1}}$	$C=\frac{\varepsilon_0\varepsilon 2\pi l}{\ln\frac{D_2}{D_1}}$ или $C=\frac{1}{9\cdot 10^{11}}\cdot\frac{\varepsilon l}{2\ln\frac{D_2}{D_1}}$	$C=1,111\frac{\varepsilon l}{2\ln\frac{D_2}{D_1}}$
Цилиндрический с несколькими обкладками (рис. 69, *в*)	$C=\frac{\varepsilon l}{2}\times\frac{1}{\left(\ln\frac{D_2}{D_1}+\ln\frac{D_3}{D_2}+\cdots\ln\times\frac{D_n}{D_{(n-1)}}\right)}$	$C=\varepsilon_0\varepsilon 2\pi l\times\frac{1}{\left(\ln\frac{D_2}{D_1}+\ln\frac{D_3}{D_2}+\cdots+\ln\times\frac{D_n}{D_{(n-1)}}\right)}$	Значение емкости в *см* следует умножить на величину 1,111

Примечания: $\varepsilon_0=8,85416\cdot 10^{-14}$ *ф/см* — электрическая постоянная; ε — относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика; S — площадь обкладки, *см²*; d — толщина слоя диэлектрика, *см*; N — число металлических обкладок в конденсаторе; D_1 — диаметр первой обкладки цилиндрического конденсатора, *см*; D_2 — диаметр второй обкладки цилиндрического конденсатора, *см*; D_n — диаметр последней (внешней) обкладки конденсатора, *см*; r_1 — внутренний радиус сферы, *см*; r_2 — наружный радиус сферы, *см*; l — длина цилиндрической обкладки, *см*; L — длина обкладки в намотанном спиралеобразном конденсаторе, *см*.

Таблица 44

Значение температурного коэффициента емкости основных типов конденсаторов

Тип конденсатора	ТКЕ×10^{-6}, 1/°C	Нормы на величину tg δ (не более)	при частоте, *гц*
Вакуумные	+(20÷30)	$3\cdot10^{-4}$	10^6
Воздушные образцовые	+(25÷50)	$1\cdot10^{-4}$	10^3
Кварцевые	+(20÷40)	$8\cdot10^{-4}$	10^6
Стеклоэмалевые	+(40÷100)	$15\cdot10^{-4}$	10^6
Слюдяные	+(10÷50)	$10\cdot10^{-4}$	10^6
Полистирольные	—(75÷150)	$10\cdot10^{-4}$	10^6
Полиэтиленовые	—(500÷700)	$9\cdot10^{-4}$	10^6
Лавсановые	—(300÷500)	—	—
Политетрафторэтиленовые	—(50÷200)	$10\cdot10^{-4}$	10^6
Бумажные	±100÷ ±900*	$100\cdot10^{-4}$	10^6
Керамические ** класса I *а*	—(2300÷4300)	$12\cdot10^{-4}$ (для классов I *а*, I *б*)	10^6
класса I *б*	—(1100÷1500)		10^6
класса II *б, в, г, д*	—(110÷850)	$12\cdot10^{-4}$ (для классов II *б, в, г, д* — III *д*)	10^6
класса III *а, б, в*	—(13÷105)		10^6
класса III *г*	±20		10^6
класса III *д*	+(13÷53)		10^6
			10^6

* В интервале температур 20—60° С в зависимости от пропитывающего состава и от сорта бумаги ТКЕ изменяется в широких пределах.

** Эти данные относятся к керамическим конденсаторным материалам первых трех основных групп.

Различают конденсаторы постоянной емкости и конденсаторы переменной емкости. Согласно примененному диэлектрику различают конденсаторы вакуумные, воздушные, газонаполненные, с жидким диэлектриком, с твердым органическим диэлектриком (бумажные, пленочные), с твердым диэлектриком, пропитанным изоляционной жидкостью, с твердым неорганическим диэлектриком (слюда, керамика и др.), с твердым неорганическим диэлектриком, используемым в контакте с электролитом (электролитические конденсаторы).

Емкость конденсатора изменяется с изменением температуры. Это изменение емкости оценивается с помощью температурного коэффициента емкости ТКЕ

$$\text{ТКЕ}=\frac{C_2-C_1}{C_1(t_2-t_1)}\ 1/\text{град},$$

где C_1 — емкость конденсатора при температуре t_1;

C_2 — емкость конденсатора при температуре t_2.

Значение ТКЕ основных типов конденсаторов приведены в табл. 44.

По применению конденсаторы делят на контурные, фильтровые, анодноразделительные, косинусные, защитные, печные (для электротермических установок), автомобильные, телефонные и др.

В табл. 43 приведены формулы для подсчета емкостей основных конструкций конденсаторов постоянной емкости.

Таблица 45

Электрические характеристики и основные размеры косинусных бумажно-масляных конденсаторов *

Тип конденсатора	Напряжение, *в*	Мощность, *квар*	Емкость при 20° С, *мкф*	Высота *H*, *мм*	Вес, *кг*	Вид исполнения	Номер рисунка
КМ-0,22-4,5	220	4,5	296	408±7	26	Однофазное или трехфазное **	70
КМ-0,38-13	380	13	286	408±7	26	То же	71
КМ-0,5-13	500	13	165	408±7	26	»	71
КМ-0,66-13	660	13	95	422±7	26	»	71
КМ-3,15-13	3150	13	4,17	445±8	24	Однофазное	70
КМ-6,3-13	630	13	1,04	475±9	24	»	70
КМ-10,5-13	1050	13	0,376	530±11	24	»	70
КМА-0,22-4,5	220	4,5	296	475±9	27	Однофазное или трехфазное **	70
КМА-0,38-13	380	13	286	475±9	27		71
КМА-0,5-13	500	13	165	475±9	27	То же	71
КМА-0,66-13	660	13	95	475±9	27	»	71
КМА-3,15-13	3150	13	4,17	475±9	24	Однофазное	70
КМА-6,3-13	630	13	1,04	520±11	24	»	70
КМА-10,5-13	1050	13	0,376	556±12	25	»	70
КМ2-0,22-9	220	9	592	726±7	52	Однофазное или трехфазное **	72 73
КМ2-0,38-26	380	26	572	726±7	52	То же	73
КМ2-0,5-26	500	26	330	726±7	52	»	73
КМ2-0,66-26	660	26	190	740±7	52	»	73

КМ2-3,15-26	3150	26	8,34	760±8	48	Однофазное	73
КМ2-6,3-26	6300	26	2,08	790±9	48	»	72
КМ2-10,5-26	10500	26	0,752	845±11	48	»	72
КМ2А-0,22-9	220	9	592	790±9	53	Однофазное или трех-	72
						фазное**	73
КМ2А-0,38-26	380	26	572	790±9	53	То же	73
КМ2А-0,5-26	500	26	330	790±9	53	»	73
КМ2А-0,66-26	660	26	190	790±9	53	»	73
КМ2А-3,15-26	3150	26	8,34	790±9	48	Однофазное	72
КМ2А-6,3-26	6300	26	2,08	825±10	48	»	72
КМ2А-10,5-26	10500	26	0,752	878±11	48	»	72
КС-0,22-6	220	6	395	408±7	28	Однофазное или трех-	70
						фазное**	71
КС-0,22-8	220	8	526	408±7	28	То же	71
КС-0,38-18	380	18	397	408±7	28	»	71
КС-0,38-25	380	25	551	408±7	28	»	71
КС-0,5-18	500	18	229	408±7	28	»	71
КС-0,66-20	660	20	146	422±7	28	»	71
КС-0,66-25	660	25	183	422±7	28	»	71
КС-1,05-25	1050	25	72	422±7	27	Однофазное	70
КС-1,05-37,5	1050	37,5	108,3	422±7	27	»	70
КС-3,15/$\sqrt{3}$-25	3150/$\sqrt{3}$	25	24	445±8	27	»	70
КС-3,15/$\sqrt{3}$-37,5	3150/$\sqrt{3}$	37,5	36,1	445±8	27	»	70
КС-3,15-25	3150	25	8,0	445±8	27	»	70

11*

Таблица 45 (продолжение)

Тип конденсатора	Напряжение, *в*	Мощность, *квар*	Емкость при 20° С, *мкф*	Высота *H*, *мм*	Вес, *кг*	Вид исполнения	Номер рисунка
КС-3,15-37,5	3150	37,5	12	445±8	27	Однофазное	70
КС-6,3/$\sqrt{3}$-25	6300/$\sqrt{3}$	25	6	475±9	27	То же	70
КС-6,3/$\sqrt{3}$-37,5	6300/$\sqrt{3}$	37,5	9	475±9	27	»	70
КС-6,3-25	6300	25	2	475±9	27	»	70
КС-6,3-37,5	6300	37,5	3	475±9	27	»	70
КС-10,5/$\sqrt{3}$-25	10500/$\sqrt{3}$	25	2,16	530±11	27	»	70
КС-10,5/$\sqrt{3}$-37,5	10500/$\sqrt{3}$	37,5	3,24	530±11	27	»	70
КС-10,5-25	10500	25	0,72	530±11	27	»	70
КС-10,5-37,5	10500	37,5	1,08	530±11	27	»	70
КСА-0,22-6	220	6	395	475±9	29	Однофазное или трехфазное **	70, 71
КСА-0,22-8	220	8	526	475±9	29	То же	71
КСА-0,38-18	380	18	397	475±9	29	»	71
КСА-0,38-25	380	25	551	475±9	29	»	71
КСА-0,5-18	500	18	229	475±9	29	»	71
КСА-0,66-20	660	20	146	475±9	29	»	71
КСА-0,66-25	660	25	183	475±9	29	»	71
КСА-1,05-25	1050	25	72,0	475±9	27	Однофазное	70
КСА-1,05-37,5	1050	37,5	108,3	475±9	27	»	70
КСА-3,15/$\sqrt{3}$-25	3150/$\sqrt{3}$	25	24	475±9	27	»	70
КСА-3,15/$\sqrt{3}$-37,5	3150/$\sqrt{3}$	37,5	36,1	475±9	27	»	70
КСА-3,15—25	3150	25	8	475±9	27	»	70

КСА-3,15-37,5	3150	37,5	12	475±9	27	Однофазное	70
КСА-6,3/$\sqrt{3}$-25	6300/$\sqrt{3}$	25	6	520±11	27	»	70
КСА-6,3/$\sqrt{3}$-37,5	6300/$\sqrt{3}$	37,5	9	520±11	27	»	70
КСА-6,3-25	6300	25	2	520±11	27	»	70
КСА-6,3-37,5	6300	37,5	3	520±11	27	»	70
КСА-10,5/$\sqrt{3}$-35	1050/$\sqrt{3}$	35	2,16	556±12	27	»	70
КСА-10,5/$\sqrt{3}$-37,5	1050/$\sqrt{3}$	37,5	3,24	556±12	27	»	70
КСА-10,5-25	1050	25	0,72	556±12	27	»	70
КСА-10,5-37,5	1050	37,5	1,08	556±12	27	»	70
КС2-0,22-12	220	12	790	726±7	56	Однофазное или трехфазное	72 73
КС2-0,22-16	220	16	1052	726±7	56	То же	73
КС2-0,38-36	380	36	794	726±7	56	»	73
КС2-0,38-50	380	50	1102	726±7	56	»	73
КС2-0,5-36	500	36	458	726±7	56	»	73
КС2-0,66-40	660	40	292	740±7	56	»	73
КС2-0,66-50	660	50	366	740±7	56	»	73
КС2-1,05-50	1050	50	144	740±7	54	Однофазное	72
КС2-1,05-75	1050	75	217	740±7	54	»	72
КС2-3,15/$\sqrt{3}$-50	3150/$\sqrt{3}$	50	48	760±8	54	»	72
КС2-3,15/$\sqrt{3}$-75	3150/$\sqrt{3}$	75	72,2	760±8	54	»	72
КС2-3,15-50	3150	50	16	760±8	54	»	72
КС2-3,15-75	3150	75	24	760±8	54	»	72
КС2-6,3/$\sqrt{3}$-50	6300/$\sqrt{3}$	50	12	790±9	54	»	72

Таблица 45 (продолжение)

Тип конденсатора	Напряжение, *в*	Мощность, *квар*	Емкость при 20° С, *мкф*	Высота *H*, *мм*	Вес, *кг*	Вид исполнения	Номер рисунка
КС2-6,3/$\sqrt{3}$-75	6300/$\sqrt{3}$	75	18	790±9	54	Однофазное	72
КС2-6,3-50	6300	50	4	790±9	54	»	72
КС2-6,3-75	6,3	75	6	790±9	54	»	72
КС2-10,5/$\sqrt{3}$-50	10,5/$\sqrt{3}$	50	4,32	845±11	54	»	72
КС2-10,5/$\sqrt{3}$-75	10,5/$\sqrt{3}$	75	6,48	845±11	54	»	72
КС2-10,5-50	10,5	50	1,44	845±11	54	»	72
КС2-10,5-75	10,5	75	2,16	845±11	54	»	72
КС2А-0,22-12	220	12	790	790±9	58	Однофазное или трехфазное	72 73
КС2А-0,22-16	220	16	1052	790±9	58	То же	73
КС2А-0,38-36	380	36	794	790±9	58	»	73
КС2А-0,38-50	380	50	1102	790±9	58	»	73
КС2А-0,5-36	500	36	458	790±9	58	»	73
КС2А-0,66-40	660	40	292	790±9	58	»	73
КС2А-0,66-50	660	50	366	790±9	58	»	73

КС2А-1,05-50	1050	50	144	790±9	54	Однофазное	72
КС2А-1,05-75	1050	75	217	790±9	54	»	72
КС2А-3,15/$\sqrt{3}$-50	3150/$\sqrt{3}$	50	48	790±9	54	»	72
КС2А-3,15/$\sqrt{3}$-75	3150/$\sqrt{3}$	75	72,2	790±9	54	»	72
КС2А-3,15-50	3150	50	16	790±9	54	»	72
КС2А-3,15-75	3150	75	24	790±9	54	»	72
КС2А-6,3/$\sqrt{3}$-50	6300/$\sqrt{3}$	50	12	825±10	54	»	72
КС2А-6,3/$\sqrt{3}$-75	6300/$\sqrt{3}$	75	18	825±10	54	»	72
КС2А-6,3-50	6300	50	4	825±10	54	»	72
КС2А-6,3-75	6300	75	6	825±10	54	»	72
КС2А-10,5/$\sqrt{3}$-50	10500/$\sqrt{3}$	50	4,32	871±12	54	»	72
КС2А-10,5/$\sqrt{3}$-75	10500/$\sqrt{3}$	75	6,48	871±12	54	»	72
КС2А-10,5-50	10500	50	1,44	871±12	54	»	72
КС2А-10,5-75	10500	75	2,16	871±12	54	»	72

* Конденсаторы предназначены для работы при температуре окружающего воздуха не выше 40° С и не ниже —40° С, на высоте не более 1000 *м* над уровнем моря при влажности воздуха не более 80% (для конденсаторов: КМ; КМ2; КС и КС2).

** Конденсаторы в трехфазном исполнении соединяются по схеме «треугольник».

§ 34. Электрические характеристики и размеры бумажно-масляных конденсаторов

На рис. 70—73 представлены конструкции бумажно-масляных косинусных конденсаторов, предназначенных для повышения коэффициента мощности в электроустановках переменного тока частотой 50 *гц*. Конденсаторы выпускают в стальных окрашенных корпусах 1-го (380×120×325 *мм*) и 2-го (380×120×640 *мм*) габаритов. Первое число указывает длину, второе ширину и третье — высоту корпуса. Бумажно-масляные конденсаторы допускают длительную работу при повышении действующего значения напряжения до 110% от номинального или при повышении действующего значения тока до 130% от тока при номинальном напряжении.

В табл. 45 приведены характеристики этих конденсаторов. Буквы и цифры в марках бумажно-масляных косинусных конденсаторов обозначают: К — косинусный; М — пропитка минеральным маслом; С — пропитка синтетической электроизоляционной жидкостью; А — исполнение для наружной установки; 2 — исполнение в корпусе второго габарита (больших размеров). Отсутствие цифры в марке — означает исполнение в корпусе первого габарита с меньшей электроёмкостью.

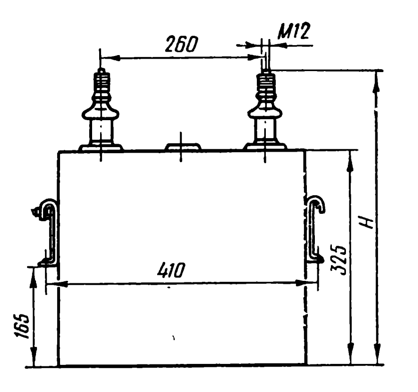
§ 35. Электрические характеристики и размеры керамических высоковольтных конденсаторов

Высоковольтные керамические конденсаторы постоянной емкости предназначаются для работы в цепях постоянного тока с напряжением до 30 *кв*, в цепях переменного тока высокой частоты с напряжением до 25 *кв. действ*, а также в импульсных режимах. Керамические конденсаторы изготовляются семи групп (см. табл. 46), отли-

Таблица 46

Классификация конденсаторов

Обозначение групп конденсаторов	ТКЕ на 1°С в интервале от 20 до 85°С	Изменение емкости в рабочем интервале температур относительно емкости при 25±10°С, %
П120	$+(120\pm30)\ 10^{-6}$	±1,5
П60	$+(60\pm30)\ 10^{-6}$	±1,0
М47	$-(47\pm30)\ 10^{-6}$	±1,0
М75	$-(75\pm30)\ 10^{-6}$	±1,0
М150	$-(150\pm30)\ 10^{-6}$	±2,0
М750	$-(750\pm100)\ 10^{-6}$	±10
М1300	$-(1300\pm200)\ 10^{-6}$	±20



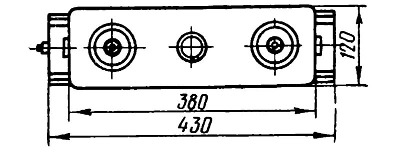
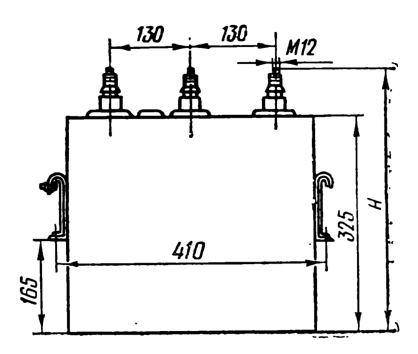


Рис. 70. Косинусный бумажно-масляный конденсатор на напряжения 220—3150 *в* однофазного исполнения КМ, КС, КМА, КСА



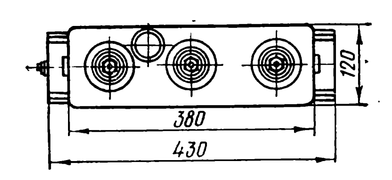


Рис. 71. Косинусный бумажно-масляный конденсатор на напряжения 220—660 *в* трехфазного исполнения КМ, КС, КМА, КСА

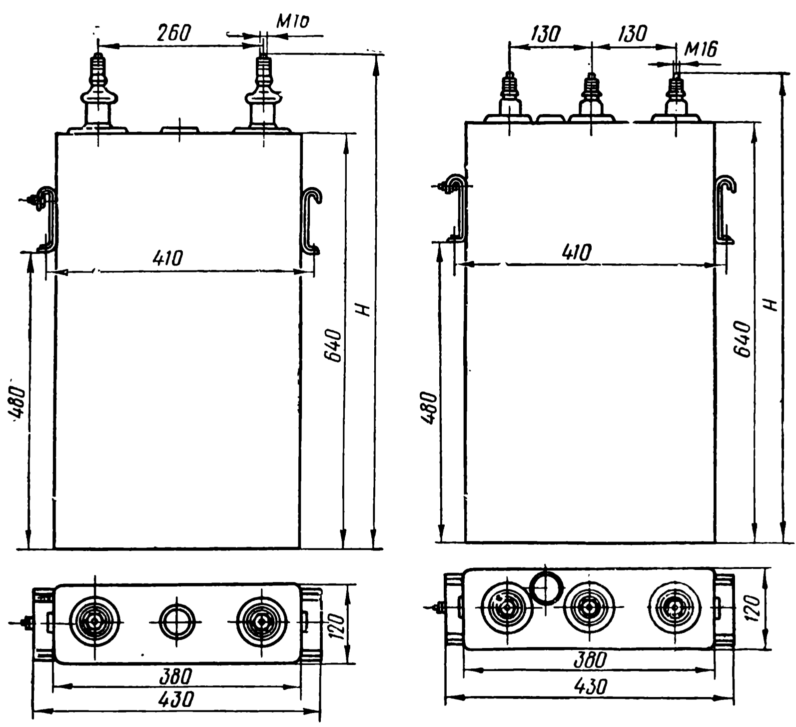
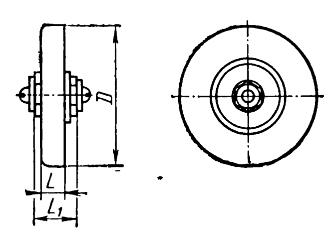


Рис. 72. Косинусный бумажно-масляный конденсатор на напряжения 220—3150 *в* однофазного исполнения КМ2, КС2, КМ2А, КС2А

Рис. 73. Косинусный бумажно-масляный конденсатор на напряжения 220—6300 *в* трехфазного исполнения КМ2, КС2, КМ2А, КС2А

Рис. 74. Плоский (дисковый) керамический высоковольтный конденсатор



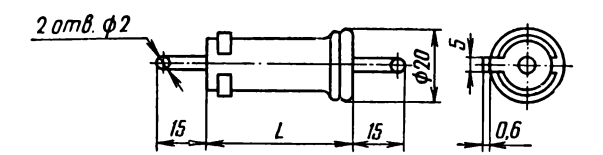


Рис. 75. Трубчатый керамический высоковольтный конденсатор реактивной мощности от 2 до 2,5 *квар*

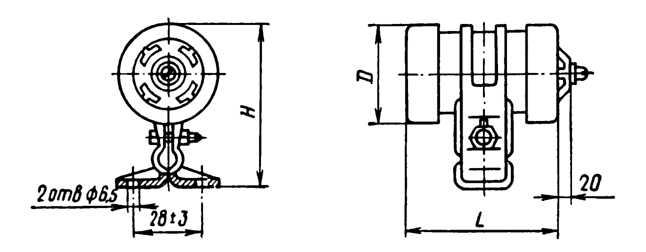


Рис. 76. Трубчатый керамический высоковольтный конденсатор реактивной мощности от 15 до 400 *квар*

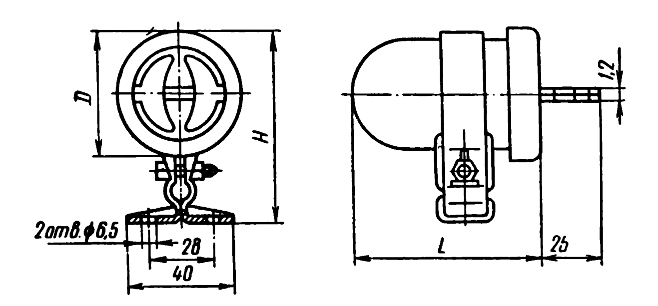


Рис. 77. Горшковый керамический высоковольтный конденсатор

Таблица 47

Электрические характеристики и основные размеры дисковых керамических конденсаторов К15У-1

Номинальное напряжение: постоянное, *кв*	Номинальное напряжение: высокой частоты, *кв*	Номинальная емкость, *пф**	Допускаемое отклонение емкости, %	Номинальная реактивная мощность, *квар*	Основные размеры (по рис. 74), *мм***: D	L	L_1	Вес (не более), *г*
4	3	470	±20	17	45	7,1	14	50
4	3	1000		27	63	7,1	14	100
4	3	2200		40	90	7,1	19	180
4	3	4700		65	125	7,1	19	250
4	3	10000		90	180	7,1	27	600
4	3,5	100	±10±20	4	18	8,0	18	20
4	3,5	150		6	25	8,0	15	25
4	3,5	220		8	31,5	8,0	15	30
4	3,5	330		8	31,5	8,0	15	30
8	5	100	±20	50	90	7,1	19	150
8	5	220		90	125	7,1	19	300
8	5	470		150	180	7,1	27	500
8	6	100	±10±20	7	25	14	19	40
8	6	150		7	31,5	14	21	50
8	6	1000	±20	40	90	12,5	22,5	450
8	6	2200	±20	75	125	12,5	22,5	550
8	6	4700		115	180	12,5	30	1000
12	10	100	±10	9	31,5	22,4	27	60
16	10	100	±20	130	125	13,2	22,5	500
16	10	220		225	180	13,9	30,5	1000
16	12	1000		90	125	21,2	29	1300
16	12	2200		145	180	21,2	37	1800
20	14	470		40	63	19,0	23	180

* На напряжение 4 *кв* (постоянного тока) выпускаются также конденсаторы емкостью от 4,7 до 68 *пф*, на напряжение 8 *кв* (постоянного тока) выпускаются также конденсаторы емкостью от 1,5 до 68 *пф*, а на напряжение 12 *кв* (постоянного тока) от 1 до 68 *пф*.

** Допуски по диаметру находятся в пределах +1,5÷—1 (*D* до 90 *мм*) и +2,5÷—2 (*D* более 90 *мм*) отклонения по ширине находятся в пределах +1÷—0,5 *мм* (*L* до 7,1 *мм*) и ±1 *мм* (*L* до 14 *мм*). Отклонения по размеру L_1 находятся в пределах ± 1 *мм* (L_1 до 14 *мм*) и ± 3 *мм* (L_1 более 14 *мм*).

Таблица 48

Электрические характеристики и основные размеры трубчатых керамических конденсаторов К15У-2

Номинальное напряжение		Номинальная емкость, *пф*	Допускаемое отклонение емкости, %	Номинальная мощность, *квар*	Номер рисунка	Основные размеры, *мм*			Вес (не более), *г*
постоянное, *кв*	высокой частоты, *кв*					*D**	*L***	*H****	
5	2	100	±10±20	2		—	30	—	30
5	2	120	±10	2,5		—	40	—	35
5	2	150	±10±20	2,5		—	40	—	35
5	2	220	±10±20	2		—	30	—	30
5	2	270	±10	2		—	30	—	30
5	2	330	±10±20	2,5	75	—	40	—	35
5	2	390	±10	2		—	30	—	30
5	2	470	±10±20	2		—	30	—	30
5	2	560	±10	2,5		—	40	—	35
5	2	680	∓10±20	2,5		—	40	—	35
4	3	1000	±20	15		40	63	66	250
4	3	2200	±20	22		33,5	53	62	200
4	3	2200	±20	25		53	85	79	350
4	3	3300	±20	25		40	63	66	250
4	3	4700	±20	45		45	75	71	300
4	3	4700	±20	60		71	125	96	550
4	3	6800	±20	50		53	85	79	400
4	3	10000	±20	90	76	63	106	89	450
6,3	4	100	±20	25		33,5	53	60	100
6,3	4	150	±20	35		40	63	66	200
6,3	4	220	±20	40		45	75	71	300
6,3	4	330	±20	75		53	85	79	350
6,3	4	470	±20	100		63	106	89	400
6,3	4	680	±20	20		45	75	71	450
6,3	4	1000	±20	25		53	85	79	600
6,3	4	1500	±20	35		63	106	89	800
6,3	4	2200	±20	40		71	125	93	1000
6,3	4	3300	±20	50		85	154	111	1400
8	6	1000	±20	15		37,5	53	62	250
8	6	1500	±20	25		42,5	63	66	300
8	6	2200	±20	35		50	75	74	400
8	6	3300	±20	50		56	85	80	600
8	6	4700	±20	65		67	106	91	900
8	6	6800	±20	90		75	125	99	1200
8	6	10000	±20	125		90	150	114	1400
8	6	15000	±20	150		106	180	130	2100
12	7	3300	±20	90		75	125	98	1000
12	8	470	±20	20		42,5	63	66	300
12	8	1000	±20	28		42,5	63	66	300
12	8	1000	±20	30		56	85	80	450
12	8	2200	±20	60		75	125	99	750
12	8	4700	±20	100		106	180	130	2500

Таблица 48 (продолжение)

Номинальное напряжение: постоянное, *кв*	Номинальное напряжение: высокой частоты, *кв*	Номинальная емкость, *пф*	Допускаемое отклонение емкости, %	Номинальная мощность, *квар*	Номер рисунка	Основные размеры, *мм*: D*	L**	H***	Вес (не более), *г*
16	10	100	±20	50		50	75	74	300
16	10	150	±20	75		56	85	80	450
16	10	220	±20	100		67	106	91	600
16	10	330	±20	150		75	125	99	850
16	10	470	±20	200		90	150	114	1100
16	10	680	±20	300		106	180	130	1500
16	10	1000	±20	45	76	75	125	99	1100
16	10	1500	±20	35		50	75	74	500
16	10	1500	±20	65		90	150	114	1600
16	10	2200	±20	50		56	85	80	750
16	10	3300	±20	65		67	106	91	1000
16	10	4700	±20	90		75	125	99	1300
16	10	6800	±20	125		90	150	114	1600
16	10	10000	±20	150		106	180	130	2300
20	15	100	±20	75		63	85	83	600
20	15	150	±20	100		75	106	95	750
20	15	220	±20	150		85	125	105	1000
20	15	330	±20	200		100	150	120	1300
20	15	470	±20	300		112	180	132	1750
20	15	680	±20	50		85	125	105	1500
20	15	1000	±20	65		100	150	120	2200
20	15	4700	±20	150		112	180	133	3200
25	20	330	±20	50		90	125	108	2500
25	20	470	±20	65		100	150	118	3000
25	20	680	±20	75		118	180	133	5000
25	20	1000	±20	100		132	212	147	6500
25	20	1500	±20	100		90	125	108	2100
25	20	2200	±20	125		100	150	118	2700
25	20	3300	±20	150		118	180	133	4200
25	20	4700	±20	200		132	212	147	5100
30	25	100	±20	200		100	150	118	2200
30	25	150	±20	300		118	180	133	3500
30	25	220	±20	400		132	212	147	4500

* Допуски по диаметру находятся в пределах $\pm1{,}5 \div 2$ *мм* (D=до 40 *мм*) и $\pm3 \div -2$ (D более 40 *мм*).

** Допуски по длине находятся в пределах: $\pm1{,}5 \div +2$ *мм* (L=до 40 *мм*) и $+2{,}5 \div 1{,}5$ *мм* до $+3 \div -2$ *мм* (L более 40 *мм*).

*** Отклонение по высоте (H) составляет ±3 *мм* для всех значений H.

чающихся температурным коэффициентом емкости (ТКЕ). Конденсаторы рассчитаны на эксплуатацию в интервале температур окружающего воздуха от —60 до +155° С (до +100° С для конденсаторов группы М750), при относительной влажности не выше 98% (при 40° С) и при давлении окружающего воздуха не ниже 5 *мм рт. ст.*

На рис. 74—77 представлены основные конструкции дисковых (плоских), трубчатых и горшковых керамических конденсаторов.

В табл. 47, 48 и 49 приведены основные размеры и электрические характеристики керамических высоковольтных конденсаторов емкостью не менее 100 *пф*.

Таблица 49

Электрические характеристики и основные размеры горшковых керамических конденсаторов К15У-3

Номинальное напряжение		Номинальная емкость*, *пф*	Номинальная реактивная мощность, *квар*	Основные размеры (по рис. 77), *мм*			Вес (не более), *г*
постоянное, *кв*	высокой частоты, *кв*			*D*	*L*	*H*	
4	3	470	10	31,5	47,5	58	180
4	3	680	10	33,5	53,0	60	200
4	3	1000	14	31,5	47,5	58	180
4	3	1000	15	42,5	63,0	69	250
4	3	1500	20	53,0	75,0	79	300
4	3	1500	14	33,5	53,0	60	200
4	3	2200	22	42,5	63,0	69	250
4	3	3300	28	53,0	75	79	300
6,3	4	100	25	42,5	63	69	200
6,3	4	1500	30	53,0	75	79	280
6,3	4	2200	28	53,0	75	79	400
8	5	330	10	31,5	47	58	210
8	5	470	12	33,5	53	60	250
8	5	680	15	42,5	63	69	300
8	5	1000	20	53,0	75	79	400
8	6	220	10	31,5	47,5	58	250
8	6	470	14	31,5	47,5	58	200

* Допускаемое отклонение емкости ±20%.

ГЛАВА III

ПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПРОВОДНИКОВЫЕ ИЗДЕЛИЯ

§ 36. Свойства проводниковых материалов

К проводниковым материалам относятся металлы и сплавы металлов. Чистые металлы обладают малым удельным сопротивлением ($\varrho = 0{,}0150 - 0{,}105$ *ом·мм²/м*). Исключением является ртуть, у которой удельное сопротивление составляет $\varrho = 0{,}943 - 0{,}952$ *ом·мм²/м*. Сплавы имеют более высокие значения удельного сопротивления ($\varrho = 0{,}30 - 1{,}8$ *ом·мм²/м*).

Чистые металлы идут для изготовления обмоточных и монтажных проводов, кабелей и т. д. Проводниковые же сплавы применяются (в виде проволоки и лент) в реостатах, добавочных сопротивлениях, потенциометрах и др.

Среди сплавов с повышенным удельным сопротивлением выделяют группу жароупорных проводниковых материалов, стойких к окислению при высоких температурах (850—1200° С). Жароупорные (жаростойкие) проводниковые сплавы находят применение в электронагревательных приборах и реостатах.

Наряду с малым удельным сопротивлением чистые металлы обладают хорошей пластичностью, т. е. могут вытягиваться в тонкую проволоку (до диаметра 0,01 *м*), ленты (до толщины 0,01 *мм*) и прокатываются в фольгу толщиной менее 0,01 *мм*. Сплавы металлов обладают меньшей пластичностью по сравнению с чистыми металлами, они более упруги и имеют большую механическую прочность. Характерной особенностью всех металлических проводниковых материалов является их электронная электропроводность. Удельное сопротивление всех металлических проводников увеличивается с ростом температуры, а также в результате механической обработки, вызывающей остаточную деформацию в металле. К холодной обработке (прокатка, волочение) приходится прибегать для получения проводниковых изделий с повышенным пределом прочности при разрыве, например, при изготовлении проводов воздушных линий, троллейных

проводов и т. д. Чтобы вернуть деформированным металлическим проводникам прежнюю величину удельного сопротивления, их подвергают термической обработке — отжигу без доступа кислорода. В табл. 50—51 приведены основные характеристики металлов и сплавов, широко применяемых в электротехнике.

Материал	Плотность, $г/см^3$	Температура плавления, °С	Предел прочности при растяжении**, $кГ/мм^2$	Удельное электрическое сопротивление при 20°С, $ом \cdot мм^2/м$	Температурный коэффициент сопротивления при 20°С, 1/°С
Алюминий	2,69—2,70	657—660	7,5—18	0,0265—0,0295	0,00431—0,00439
Алдрей	2,70	110	30—37	0,0299—0,0330	0,00360—0,00380
Бронза	8,2—8,9	890—1150	30—135	0,0195—0,180	0,00049—0,0018
Вольфрам	18,0—19,3	3370—3400	200—400	0,053—0,055	0,0041—0,0050
Железо	7,875	1534—1538	25—30	0,099—0,105	0,005—0,006
Золото	19,25—19,32	1063	13—15	0,0220—0,0235	0,00365—0,00387
Ковар	8,29	1450—1460	60—63	0,49	—
Латунь	8,5—8,6	770—940	30—60	0,066—0,108	0,0027—0,0028
Медь	8,71—8,94	1083	25—40	0,01750—0,0182	0,00411—0,00420
Молибден	9,7—10,3	2570—2625	80—250	0,048—0,054	0,00473—0,00512
Монель-металл	8,8	1350	45—50	0,42	0,0019
Никель	8,8—8,9	1452	60—70	0,0683—0,0725	0,00680

проводниковых материалов*

Коэффициент теплопроводности, *вт/см* °С	Удельная теплоемкость, *ккал/г* °С	Температурный коэффициент линейного расширения (20—100°С), 1/°С	Область применения
2,090—2,100	0,2081— —0,2250	0,000023	Применяется для изготовления проводов и шин
2,01—2,03	—	0,000023	Сплав на основе алюминия применяется для изготовления проводов
0,625—1,05	0,0952— —0,2235	$(1,5\div1,8)\times10^{-5}$	Применяется для изготовления проводов, контактов, электродов
0,92—1,08	0,0337	0,0000043	Применяется для изготовления контактов и электродов
0,708—0,710	0,11—0,12	$(1,1\div1,2)\times10^{-5}$	Применяется для изготовления проводов и шин
2,92—3,12	0,310	0,0000144	Применяется для изготовления контактов (часто в сплаве с серебром)
0,167	—	$(4,4\div5,7)\times10^{-6}$	Железо-никелько-бальтовый сплав. Применяется для изготовления вводов в сплавах со стеклом
0,84—1,08	—	$(1,8\div2,0)\times10^{-5}$	Применяется для изготовления контактов, электродов, зажимов
3,93—4,10	0,0942— —0,0985	0,0000170	Применяется для изготовления проводов, шин, контактов
1,458	0,062	0,0000040	Применяется для изготовления контактов и электродов
0,25	—	$1,4\cdot10^{-5}$	Стойкий к коррозии сплав на основе меди, никеля, кобальта и железа
0,58—0,62	0,106	0,0000131	Применяется для покрытия электродов и зажимов, изготовления спиралей для нагревателей до 800°С

Материал	Плотность, $г/см^3$	Температура плавления, °С	Предел прочности при растяжении**, $кГ/мм^2$	Удельное электрическое сопротивление при 20°С, $ом \cdot мм^2/м$	Температурный коэффициент сопротивления при 20°С, 1/° С
Свинец	11,35	327,4	0,98—1,6	0,217—0,227	0,0038—0,0041
Серебро	10,5	960,5	15—30	0,0150—0,0162	0,0034—0,0038
Сталь	7,87	1400—1530	70—175	0,103—0,137	0,0057—0,0062
Цинк	6,86—7,14	419—428	11—29	0,0535—0,0625	0,0039—0,0041

* Для выражения плотности, предела прочности при растяжении, теплопро
$10^3, 10^7, 10^2$ и $4,187 \cdot 10^3$ соответственно.

** Бо́льшие значения предела прочности при растяжении и удельного элект
(провода, прутки и др.).

Основные характеристики проводниковых

Сплав	Плотность, $г/см^3$	Температура плавления, °С	Предел прочности при растяжении, $кГ/см^2$	Удельное электрическое сопротивление при 20°С, $ом \cdot мм^2/м$	Температурный коэффициент сопротивления при 20°С, 1°/С
Алюмель	8,4	1448—1452	55—64	0,260—0,350	$4,10^{-3}$
Константан	8,9	1260—1270	40—70	0,45—0,52	$(2 \div 5)10^{-5}$

Коэффициент теплопроводности, *вт/см* °С	Удельная теплоемкость, *ккал/г* °С	Температурный коэффициент линейного расширения (20—100°С), 1/°С	Область применения
0,336— —0,347	0,031	0,0000292	Применяется для изготовления вставок предохранителей, пластин аккумуляторов, защитных покрытий кабелей и др.
4,18—4,22	0,055	0,000019	Применяется для изготовления контактов, фольги и проводов
0,45—0,48	0,120	0,000011	Применяется для изготовления проводов и шин
1,10—1,13	0,092	0,000032—0,000039	Применяется для изготовления контактов и защитных покрытий стальных проводов и арматуры

водности и удельной теплоемкости в СИ нужно табличные значения умножить на

рического сопротивления относятся к твердотянутым проводниковым изделиям

Таблица 51

сплавов высокого сопротивления*

Коэффициент линейного расширения, 1/°С	Наибольшая рабочая температура, °С	Термо-э.д.с. в паре с медью, *мкв*/°С	Область применения
$(2{,}3 \div 2{,}9)10^{-5}$	900—1000	—	Применяется для термопар (в паре с хромелевой проволокой)
$(1{,}2 \div 1{,}4)10^{-5}$	500	39—40	Применяется для изготовления сопротивления приборов низкого класса точности, реостатов и термопар (в паре с медной проволокой)

Сплав	Плотность, $г/см^3$	Температура плавления, °С	Предел прочности при растяжении, $кГ/см^2$	Удельное электрическое сопротивление при 20 °С, $ом \cdot мм^2/м$	Температурный коэффициент сопротивления при 20 °С, 1 °/С
Копель	8,99	1250	60—75	0,48—0,55	$(1\div2)10^{-4}$
Манганин	8,4	950—1100	45—70	0,42—0,52	$(3\div10)10^{-5}$
Нейзильер	8,7	1080	35—60	0,30—0,42	$(25\div36)10^{-5}$
Типа ферронихром (Х15Н60) ост Fe	8,2	1370—1380	65—75	1,02—1,11	$(13\div15)10^{-5}$
Типа нихром (Х20Н80)	8,4	1380—1390	65—75	1,00—1,12	$(13\div15)10^{-5}$
Типа нихром (Х20Н80Т)	8,25	1400—1450	65—75	1,17—1,22	$(12\div13)10^{-5}$
Типа нихром (Х20Н80Т3)	8,2—8,3	1400—1450	65—75	1,27	$(12\div13)10^{-5}$
Типа фехраль (Х13Ю4)	7,0—7,2	1450—1470	60—65	1,26—1,30	$(15\div18)10^{-5}$
Типа фехраль (0Х23Ю5)	6,9—7,0	1490—1510	70—75	1,37	$(4\div5)10^{-5}$
Типа фехраль (0Х23Ю5А)	7,0—7,2	1490—1510	70—75	1,35	$(4\div5)10^{-5}$
Типа фехраль (0Х27Ю5А)	7,2—7,4	1480—1500	65—70	1,42	$(5\div6)10^{-5}$
Хромель	8,70—8,72	1450	80—90	0,66	$(5\div6)10^{-4}$
Чугун серый (немагнитный)	6,6—7,4	1200—1210	12—32	1,4—1,5	$(9\div10)10^{-4}$

* Для выражения плотности и предела прочности при растяжении в СИ нужно
** Бо́льшие значения прочности при растяжении и удельного электрического
ленты и др.).

Коэффициент линейного расширения, 1/°С	Наибольшая рабочая температура, °С	Термо-э.д.с. в паре с медью, *мкв*/°С	Область применения
$1{,}56 \cdot 10^{-5}$	500—600	45—47	Применяется для термопар (в паре с хромелевой или медной проволокой)
$(1{,}8 \div 2{,}0)10^{-5}$	250—300	0,9—1,0	Применяется для изготовления эталонных сопротивлений и приборов высокого класса точности
$(1{,}8 \div 2{,}2)10^{-5}$	200—250	16—20	Применяется для изготовления реостатов
$(1{,}3 \div 1{,}4)10^{-5}$	900—1000	—	Применяется в лабораторных и промышленных печах и реостатах
$(1{,}3 \div 1{,}4)10^{-5}$	1000—1100	—	То же
$(1{,}4 \div 1{,}5)10^{-5}$	1000—1100	—	»
$(1{,}4 \div 1{,}5)10^{-5}$	1000—1150	—	Применяется в лабораторных и промышленных печах
$(1{,}3 \div 1{,}4)10^{-5}$	800—850	—	Применяется в бытовых и лабораторных печах
$(1{,}4 \div 1{,}5)10^{-5}$	1200	—	Применяется в лабораторных и промышленных печах
$(1{,}4 \div 1{,}5)10^{-5}$	1300	—	То же, но с бо́льшим сроком службы
$(1{,}4 \div 1{,}5)10^{-5}$	1100—1300	—	То же
$(1{,}5 \div 1{,}6)10^{-5}$	900—1000	21—23	Применяется для изготовления термопар (в паре с алюмелевой или копелевой проволокой)
$(1{,}1 \div 1{,}2)10^{-5}$	600—700	—	Применяется для изготовления сопротивлений нагрузочных реостатов, станин машин, фланцев проходных изоляторов и др.

табличные значения умножить на 10^3 и 10^7 соответственно.
сопротивления относятся к твердотянутым проводниковым изделиям (провода,

§ 37. Обмоточные провода с эмалевой изоляцией

Таблица 52

Медные обмоточные провода с эмалевой изоляцией

Марка провода	Диаметр жилы (без изоляции), *мм*	Характеристика провода	Толщина изоляции на одну сторону, *мм*	Область применения
ПЭЛ	0,02—2,44	Изолированный эмалью на масляно-смоляной основе	0,004—0,032	Применяется для обмоток электрических машин, аппаратов и приборов, работающих при температуре до +105° С
ПЭВ-1	0,02—2,44	Изолированный высокопрочной эмалью на поливинилацеталевой основе	0,004—0,025	То же
ПЭВ-2	0,05—2,44	То же, с утолщенной изоляцией	0,006—0,035	»
ПЭМ-1	0,06—2,44	Изолированный высокопрочной эмалью на поливинилацеталевой основе	0,01—0,04	»
ПЭМ-2	0,06—2,44	То же, с утолщенной изоляцией	0,0125—0,0425	»
ПЭВДч	0,014	Изолированный высокопрочной эмалью на поливинилацеталевой основе с клеящим слоем лака на основе поливинилбутираля	0,008	Применяется для изготовления часовых катушек для балансовых бесконтактных часов. Провод может применяться при температурах до 105° С

ПЭВЦ	1,0—1,20	Изолированный высокопрочной цветной эмалью на поливинилацеталевой основе	0,05	Применяется в автотракторном оборудовании при температурах до 105° С
ПЭВ-БЖ	0,02—0,05	Немагнитный, изолированный высокопрочной эмалью на поливинилацеталевой основе	0,004—0,0075	Применяется для обмоток аппаратов и приборов, работающих при температуре до +105° С, когда требуется пониженное содержание магнитных включений
ПЭВД	0,06—1,00	Изолированный высокопрочной эмалью на поливинилацеталевой основе с дополнительным термопластичным слоем на основе поливинилацетата или поливинилбутираля	0,0165—0,0425	Применяется для изготовления бескаркасных катушек, работающих при температуре до +105° С при повышенных механических нагрузках на провод в процессе изготовления и эксплуатации
ПЭЛР-1	0,10—2,44	Изолированный высокопрочной эмалью на полиамидной основе	0,01—0,04	Применяется для обмоток электрических машин, аппаратов и приборов, работающих при температуре до +105° С при повышенных механических нагрузках на провод в процессе изготовления и эксплуатации
ПЭЛР-2	0,10—2,44	То же, с утолщенной изоляцией	0,0125—0,045	То же
ПЭВКЛ	0,10—0,15	Изолированный высокопрочной эмалью на основе капрона	0,01—0,0115	Применяется для обмоток аппаратов и приборов, работающих в помещении при температуре до +105° С, когда требуется лужение концов жилы без зачистки изоляции

Таблица 52 (продолжение)

Марка провода	Диаметр жилы (без изоляции), *мм*	Характеристика провода	Толщина изоляции на одну сторону, *мм*	Область применения
ПЭВТЛ-1	0,02—1,56	Изолированный нагревостойкой высокопрочной полиуретановой эмалью	0,003—0,035	Применяется для обмоток, электрических машин, аппаратов и приборов, работающих при температуре до 120° С при повышенных механических нагрузках на провод в процессе изготовления и эксплуатации, когда требуется лужение концов жилы без зачистки изоляции
ПЭВТЛ-2	0,02—1,56	То же, с утолщенной изоляцией	0,005—0,04	То же
ПЭВТЛК	0,06—0,35	Изолированный двойной упрочненной нагревостойкой высокопрочной эмалью на основе полиуретановых и полиимидных смол	0,015—0,025	Применяется для прошивки матриц запоминающих устройств, а также для изготовления обмоток электрических машин, аппаратов, приборов, работающих при температуре до +120° С, в тех случаях, когда требуется высокая механическая прочность изоляции и лужение концов жилы без зачистки изоляции
ПЭТВ	0,06—2,44	Изолированный нагревостойкой высокопрочной эмалью на основе полиэфиров терефтале-	0,005—0,035	Применяется для обмоток электрических машин, аппаратов и приборов, работающих

		вой кислоты		при температуре до +130° С при повышенных механических нагрузках на провод
ПЭТВ-Р	0,02—0,20	Изолированный нагревостойкой высокопрочной эмалью на основе полиэфиров терефталевой кислоты с утоненной изоляцией	0,005—0,0135	То же
ПЭТП-155А	1,35—2,44	Изолированный высокопрочной эмалью на основе полиэфироимидных смол	0,06	Применяется для обмоток электрических машин, аппаратов и приборов, работающих при температуре до 155° С при повышенных механических нагрузках на провод
ПЭТВТР	0,06—0,35	Изолированный нагревостойкой высокопрочной эмалью на основе полиэфиров терефталевой кислоты с дополнительным термореактивным слоем на основе эпоксидной смолы	0,0185—0,0325	Применяется для бескаркасных катушек статоров и роторов индукционных элементов, работающих при температуре до +130° С
ПЭТ-155Б	0,06—2,44	Изолированный нагревостойкой высокопрочной эмалью на полиэфирциануратной основе	0,0135—0,045	Применяется для обмоток электрических машин, аппаратов приборов, работающих при температуре до +155° С, при повышенных механических нагрузках на провод
ПЭТ-155А	0,06—2,44	Изолированный нагревостойкой высокопрочной эмалью на полиэфироимидной основе	0,0135—0,045	То же

Таблица 52 (продолжение)

Марка провода	Диаметр жилы (без изоляции), *мм*	Характеристика провода	Толщина изоляции на одну сторону, *мм*	Область применения
ПНЭТ-ИМИД	0,10—2,44	Никелированный, изолированный нагревостойкой высокопрочной эмалью на полиамидной основе	0,0125—0,05	Применяется для обмоток электрических машин, аппаратов и приборов, работающих при температуре до +220° С при повышенных механических нагрузках на провод
ПЭФ-1	0,05—1,00	Изолированный эмалью на основе суспензии фторопласта-4	0,01—0,04	Применяется для обмоток электрических машин, аппаратов и приборов, работающих при температуре до +220° С, в тех случаях, когда требуется высокая устойчивость к влажности и агрессивным средам
ПЭФ-2	0,02—1,00	То же, с утолщенной изоляцией	0,01—0,05	То же
ПЭВП	Толщина: 0,5—2,83 Ширина: 2,1—8,8	Провода прямоугольного сечения (шины) изолированные, высокопрочной эмалью винифлекс	0,03—0,05	Применяется для обмоток электрических машин и аппаратуры до 105° С
ПЭТВП	Те же размеры	То же, но изолированные нагревостойкой высокопрочной эмалью на основе полиэфиров	0,03—0,05	То же, но при температуре до 130° С

Таблица 53

Алюминиевые обмоточные провода с эмалевой изоляцией

Марка провода	Диаметр жилы (без изоляции), *мм*	Характеристика провода	Толщина слоя изоляции (на одну сторону), *мм*	Область применения
ПЭВА	0,51÷2,44	Изолированный высокопрочным эмаль-лаком (винифлекс)	0,01—0,06	Применяется для обмоток электрических машин, аппаратов и приборов. Максимально допустимая температура 105° С
ПЭВАТ	0,08—0,59	То же, но изготовленный из твердой проволоки	0,01—0,06	То же
ПЭТВА	0,38—2,44	Изолированный полиэфирным лаком	0,03—0,07	То же, но максимально допустимая температура 130° С
ПЭТА	0,08—2,44	Изолированный нагревостойким полиамидным лаком	—	То же, но максимально допустимая температура 220° С

Таблица 54

Эмалированные обмоточные провода из сплавов высокого сопротивления

Марка провода	Диаметр жилы без изоляции *, *мм*	Толщина слоя изоляции (на одну сторону), *мм*	Общая характеристика
ПЭММ	0,05—1,0	0,008—0,04	Провод из мягкой (отожженной) манганиновой проволоки, эмалированный масляной эмалью класса нагревостойкости А (105° С)
ПЭМТ	0,03—1,0	0,007÷0,04	То же, но изготовленный из твердой (не отожженной) манганиновой проволоки

Марка провода	Диаметр жилы без изоляции*, *мм*	Толщина слоя изоляции (на одну сторону), *мм*	Общая характеристика
ПЭВММ-1	0,05—0,80	0,008÷0,04	Провод из мягкой манганиновой проволоки, эмалированный высокопрочной эмалью (винифлекс) класса нагревостойкости А (105° С)
ПЭВМТ-1	0,02—0,80	0,006÷0,04	То же, но изготовленный из твердой манганиновой проволоки
ПЭВММ-2	0,05—0,80	0,01—0,05	Провод из мягкой манганиновой проволоки с утолщенным слоем высокопрочной эмали класса нагревостойкости А (105° С)
ПЭМС	0,05—0,8	0,01—0,05	То же, но из стабилизированного манганина
ПЭВМТ-2	0,02—0,8	0,008—0,05	То же, но изготовленный из твердой манганиновой проволоки
ПЭК	0,03—1,0	0,007—0,04	Провод из мягкой константановой проволоки, эмалированный масляной эмалью класса нагревостойкости А (105° С)
ПЭКФ-К	0,2÷0,8	0,02—0,04	То же, но с керамико-фторопластовой эмалью класса нагревостойкости С (250° С)
ПЭВКМ-1	0,10—0,80	0,01—0,04	Провод константановый из мягкой (отожженной) проволоки, эмалированный высокопрочной эмалью (винифлекс) класса нагревостойкости А (105° С)
ПЭВКТ-1	0,03—0,80	0,006—0,04	То же, но изготовленный из твердой проволоки
ПЭВКМ-2	0,01—0,80	0,015—0,05	Провод константановый из мягкой проволоки с утолщенным слоем высокопрочной эмали (винифлекс) класса нагревостойкости А (105°С)

Таблица 54 (продолжение)

Марка провода	Диаметр жилы без изоляции *, *мм*	Толщина слоя изоляции (на одну сторону), *мм*	Общая характеристика
ПЭВКТ-2	0,03—0,80	0,008—0,05	То же, но изготовленный из твердой константановой проволоки
ПЭВНХ-1	0,02—0,40	0,006—0,02	Провод нихромовый эмалированный высокопрочной эмалью класса нагревостойкости А (105° С)
ПЭВНХ-2	0,02—0,40	0,008—0,03	То же, но с утолщенным слоем высокопрочной эмали
ПЭНХ	0,03—0,40	0,007—0,02	То же, но эмалированный масляной эмалью класса нагревостойкости А (105° С)
ПЭТВНХ	0,03—0,40	0,005—0,02	Провод нихромовый, изолированный высокопрочной эмалью повышенной нагревостойкости (130° С)
ПЭТВКМ	0,10—0,50	0,008—0,02	Провод константановый из мягкой (отожженной) проволоки, эмалированный высокопрочной эмалью класса нагревостойкости В (130° С)
ПЭТВКТ	0,03—0,50	0,005—0,02	То же, но изготовленный из твердой константановой проволоки

* Сортамент диаметров обмоточных проводов с эмалевой изоляцией: 0,02; 0,025; 0,03; 0,04; 0,05; 0,06; 0,07; 0,08; 0,09; 0,10; 0,12; 0,15; 0,16; 0,18; 0,20; 0,22; 0,25; 0,30; 0,35; 0,36; 0,40; 0,45; 0,50; 0,55; 0,60; 0,63; 0,65; 0,70; 0,75; 0,80.

§ 38. Обмоточные провода с волокнистой и эмалево-волокнистой изоляцией

Таблица 55

Медные обмоточные провода с волокнистой изоляцией

Марка провода	Диаметр жилы без изоляции, *мм*	Толщина слоя изоляции (на одну сторону), *мм*	Характеристика провода
ПБ	Круглые диаметром: 1,0—5,2	0,15—2,9	Провод, изолированный несколькими слоями кабельной бумаги
	Прямоугольные: $a=0{,}9\div5$ $b=2{,}1\div22{,}0$	0,28—2,96	
ПБУ	Прямоугольные: $a=2{,}44\div5{,}5$ $b=6{,}9\div22{,}0$	0,68—2,2	То же, но с повышенными механическими и электрическими характеристиками
ПББО	Прямоугольные: $a=0{,}90\div5{,}5$ $b=2{,}1\div14{,}5$	0,22—2,9	Провод, изолированный несколькими слоями кабельной бумаги, а затем спиралью из хлопчатобумажной пряжи
ПБОО	Круглые диаметром: 1,0—5,2	0,43	Провод, изолированный одним слоем обмотки и оплетки из хлопчатобумажной пряжи
	$a=0{,}9\div5{,}5$ $b=2{,}1\div14{,}5$	0,44	
ППТБО	Прямоугольные: $a=0{,}9\div5{,}5$ $b=2{,}1\div14{,}5$	0,22—0,25	Провод, изолированный двумя слоями триацетатной пленки, одним слоем обмотки телефонной бумаги и затем одним слоем обмотки хлопчатобумажной пряжи
ППЛБО	Прямоугольные: $a=0{,}9\div5{,}5$ $b=2{,}1\div14{,}5$	0,19—0,26	Провод, изолированный тремя слоями лавсановой пленки, а затем обмоткой из хлопчатобумажной пряжи
ПЛД	Круглые диаметром: $0{,}38\div1{,}30$	0,09—0,10	Провод, изолированный двумя слоями обмотки из лавсанового волокна
ПЛБД	Круглые диаметром: 0,38—5,2	0,10—0,14	Провод, изолированный одним слоем обмотки из лавсанового волокна и одним слоем обмотки из хлопчатобумажной пряжи
	Прямоугольные: $a=0{,}9\div5{,}5$ $b=2{,}10\div14{,}5$	0,135—0,18	

Марка провода	Диаметр жилы без изоляции, *мм*	Толщина слоя изоляции (на одну сторону), *мм*	Характеристика провода
ПБО	Круглые диаметром: 0,20÷2,10	0,05—0,07	Провод, изолированный одним слоем обмотки из хлопчатобумажной пряжи
	Прямоугольные: a=0,83÷5,5 b=2,10÷14,5	0,07—0,115	
ПБД	Круглые диаметром: 0,38÷5,2		
	Прямоугольные: a=0,9÷5,5 b=2,1÷14,5	0,11—0,165 0,135—0,22	Провод, изолированный двумя слоями обмотки из хлопчатобумажной пряжи
ПСД	Круглые диаметром: 0,31÷5,2	0,11—0,165	Провод, изолированный двумя слоями обмотки из стекловолокна, пропитанной теплостойким лаком класса F (155° С)
	Прямоугольные: a=0,9÷5,5 b=2,1÷12,5	0,135—0,20	То же
ПСД-М	Те же размеры	0,125—0,18 0,145—0,21	То же, но с дополнительной лакировкой поверхности провода
ПСДК	Те же размеры	0,11—0,165 0,135—0,20	Провод, изолированный обмоткой из стекловолокна, пропитанной кремнийорганическим лаком класса H (180° С)
ПСДК-М	Те же размеры	0,11—0,165 0,135—0,20	То же, но с дополнительной лакировкой поверхности провода класса H (180° С)
ПСДТ	Круглые диаметром: 0,31÷2,1	0,09—0,115	Провод, изолированный двумя слоями обмотки из утоненного стекловолокна, пропитанной теплостойким лаком класса F (155° С)
ПСДТ-М	Те же размеры	0,10—0,125	То же, но с дополнительной лакировкой поверхности провода класса F (155° С)

Таблица 55 (продолжение)

Марка провода	Диаметр жилы без изоляции, *мм*	Толщина слоя изоляции (на одну сторону), *мм*	Характеристика провода
ПСДКТ	Круглые диаметром: 0,31÷2,10 Прямоугольные: a=0,9÷4,4 b=2,10÷10,0	0,07—0,11 0,11—0,13	Провод, изолированный двумя слоями обмотки из утоненного стекловолокна, пропитанной кремнийорганическим лаком класса *Н* (180° С)
ПСДКТ-М	Те же размеры	0,07—0,11 0,11—0,13	То же, но с дополнительной лакировкой поверхности провода класса *Н* (180° С)

Таблица 56

Алюминиевые обмоточные провода с волокнистой изоляцией

Марка провода	Диаметр жилы без изоляции, *мм*	Толщина слоя изоляции (на одну сторону), *мм*	Характеристика провода
АПБД	Круглые диаметром: 1,35÷8,0 Прямоугольные: a=1,81÷7,0 b=4,10÷18,0	0,135—0,18 0,135—0,24	Провод, изолированный двумя слоями обмотки из хлопчатобумажной пряжи
АПБ	Те же размеры	0,15—2,9 0,225—2,47	Провод, изолированный несколькими слоями обмотки из лент кабельной бумаги
АПББО	Прямоугольные: a=1,81÷7,0 b=4,10÷18,0	0,225—2,98	Провод, изолированный несколькими слоями кабельной бумаги, а затем спиралью из хлопчатобумажной пряжи
АПБОО	Круглые диаметром: 1,35÷8,0 Прямоугольные: a=1,81÷7,0 b=4,10÷18,0	0,425 0,44—0,455	Провод, изолированный одним слоем обмотки и оплеткой из хлопчатобумажной пряжи
АПЛБД	Круглые диаметром: 1,35÷8,0 Прямоугольные: a=1,81÷7,0 b=4,10÷18,0	0,115—0,145 0,135—0,24	Провод, изолированный одним слоем обмотки из лавсанового волокна и одним слоем обмотки из хлопчатобумажной пряжи

Таблица 56 (продолжение)

Марка провода	Диаметр жилы без изоляции, *мм*	Толщина слоя изоляции (на одну сторону), *мм*	Характеристика провода
АПСД	Круглые диаметром: 1,62÷5,2 Прямоугольные: a=2,10÷5,5 b=4,1÷14,5	0,135 0,165—0,20	Провод, изолированный двумя слоями обмотки из стекловолокна, пропитанной теплостойким лаком класса F (155° С)

Таблица 57

Медные обмоточные провода с эмалево-волокнистой изоляцией

Марка провода	Диаметр жилы без изоляции, *мм*	Толщина слоя изоляции (на одну сторону), *мм*	Характеристика провода
ПЭЛБО	0,38—2,1	0,0625—0,105	Провод, изолированный масляной эмалью и одним слоем обмотки из хлопчатобумажной пряжи
ПЭЛШО	0,05—1,56	0,035—0,075	Провод, изолированный масляной эмалью и одним слоем обмотки из натурального шелка
ПЭЛШКО	0,05—2,10	0,035—0,078	То же, но на слой масляной эмали наложен слой обмотки из капронового шелка
ПЭЛШКД	0,72—0,96	0,095	Провод, изолированный масляной эмалью и двумя слоями обмотки из капронового шелка
ПЭВШО	0,2—1,5	0,035—0,09	Провод, изолированный высокопрочной эмалью и одним слоем обмотки из натурального шелка
ПЭЛЛО	0,05—1,3	0,035—0,075	Провод, изолированный масляной эмалью и одним слоем обмотки из лавсанового волокна
ПЭВЛО	0,06—1,3	0,055—0,09	Провод, изолированный высокопрочной эмалью и одним слоем обмотки из лавсанового волокна

Марка провода	Диаметр жилы без изоляции, *мм*	Толщина слоя изоляции (на одну сторону), *мм*	Характеристика провода
ПЭТЛО	0,06—1,3	0,055—0,09	Провод, изолированный высокопрочной эмалью повышенной нагревостойкости и одним слоем обмотки из лавсанового волокна
ПЭПЛО	0,06—1,3	0,055—0,08	То же, но лудящийся без зачистки изоляции
ПЭПЛОТ	0,08—0,51	0,055—0,08	То же, но с дополнительной термообработкой
ПЭТСО	0,31—2,1	0,10—0,12	Провод, изолированный слоем высокопрочной эмали и одним слоем обмотки из стекловолокна, пропитанной лаком
ПЭТСОТ	0,31—2,1	0,087—0,11	Провод, изолированный нагревостойкой эмалью и одним слоем обмотки из стекловолокна с пропиткой нагревостойким лаком
ПЭТКСОТ	Круглые диаметром: 0,33—1,56 Прямоугольные: $a=0,83\div1,45$ $b=2,1\div4,7$	0,07—0,08	То же, но с применением утоненного стекловолокна и нагревостойкого кремнийорганического лака класса *H* (180° С)
ПЭТВСО	0,1—0,51	0,055—0,073	Провод, изолированный высокопрочной эмалью и одним слоем обмотки из стекловолокна, пропитанной нагревостойким лаком класса *F* (155° С)
ПНЭТСО	0,2—1,56	0,058—0,09	Провод, изолированный нагревостойкой кремнийорганической эмалью и одним слоем обмотки из утоненного стекловолокна

Таблица 58

Обмоточные провода из сплавов высокого сопротивления с волокнистой и эмалево-волокнистой изоляцией

Марка провода	Диаметр провода без изоляции, *мм*	Толщина слоя изоляции (на одну сторону), *мм*	Общая характеристика
ПШДММ	0,05—1,0	0,0622—0,085	Провод из манганиновой мягкой проволоки, изолированной двумя слоями обмотки из натурального шелка
ПШДМТ	0,05—1,0	0,0622—0,085	То же, но из твердой манганиновой проволоки
ПЭШОММ	0,05—1,0	0,425—0,085	Провод из манганиновой мягкой проволоки, изолированной эмалью и одним слоем обмотки из натурального шелка
ПЭШОМТ	0,05—1,0	0,0425—0,085	То же, но из твердой манганиновой проволоки
ПЭЛОММ	0,2—1,0	0,05—0,06	Провод из манганиновой мягкой проволоки, изолированной масляной эмалью и одним слоем обмотки из лавсанового волокна
ПШДК	0,05—1,0	0,06—0,07	Провод из константановой мягкой проволоки, изолированный двумя слоями обмотки из натурального шелка
ПЭШОК	0,05—1,0	0,04—0,07	Провод из константановой мягкой проволоки, изолированный масляной эмалью и одним слоем обмотки из натурального шелка
ПЭЛОК	0,20—1,0	0,035—0,06	То же, но поверх слоя эмали один слой обмотки из лавсанового волокна
ПЭВСОК	0,1—0,12	0,08	Провод константановый, эмалированный высокопрочной эмалью, изолированный одной обмоткой из стекловолокна
ПСДКНХ	0,1—0,6	0,12	Провод из нихромовой проволоки, изолированный двухслойной обмоткой из стекловолокна
ПЭШОНК	0,15	0,05	Провод никелевый, изолированный эмалью на масляно-смоляной основе и одним слоем шелковой обмотки

§ 39. Голые алюминиевые и медные провода и шины

Таблица 59

Основной сортамент голых алюминиевых и медных проводов

Марка	Сечение провода, $мм^2$	Характеристика провода	Область применения
А	16—600	Многопроволочный, витой. Изготовляется из твердотянутой алюминиевой проволоки марки АТ	Применяется для воздушных линий электропередачи
АС	10—400	То же, но с сердечником из стальных оцинкованных проволок	То же, но где необходима повышенная механическая прочность провода
АСУ	120—400	То же, но с усиленным стальным сердечником	То же, но где требуется высокая механическая прочность
АСО	150—700	То же, но с облегченным стальным сердечником	Облегченный, с нормальной механической прочностью
М	4—400	Изготовляется из твердотянутой медной проволоки марки МТ До сечения 16 $мм^2$, однопроволочные, начиная с 25 $мм^2$ — многопроволочные	Для воздушных линий электропередачи
МГГ	10—500	То же, но из мягкой меди марки ММ	Гибкий провод для присоединения к подвижным контактам
МГЭ	240; 300; 400; 500 и 1000	То же, но для большей гибкости внутри провода имеется сердечник из кабельной пряжи	То же, для электропечей
МП	240 и 300	Медный полый провод, состоящий из проволок фасонного сечения	Для линий электропередачи высокого напряжения и прокладок на станциях и подстанциях 220 и 380 *в*
Б	50—300	Многопроволочный витой из бронзовых проволок	Для переходов линий электропередачи
БС	185; 240; 300; 400	Сталебронзовый витой из бронзовых проволок, расположенных вокруг сердечника из стальных оцинкованных проволок	То же, но где требуется повышенная механическая прочность
ТК	30; 40; 50; 65; 85 и 100	Медный контактный (троллейный)	Для питания электроэнергией подвижных (скользящих) токоприемников
ТФ	Те же размеры	То же, но фасонный	То же

Таблица 60

Шины алюминиевые прямоугольного сечения нагартованные

Размеры сторон, *мм*	Сечение шины, *мм²*	Вес 1 *м*, *кг*	Размеры сторон, *мм*	Сечение шины, *мм²*	Вес 1 *м*, *кг*
3×10	30	0,081	5×30	150	0,405
3×12	36	0,097	5×40	200	0,540
3×15	45	0,122	5×50	250	0,675
3×20	60	0,162	5×60	300	0,810
3×25	75	0,203	5×80	400	1,080
3×30	90	0,243	6×50	300	0,810
3×40	120	0,324	6×60	360	0,972
4×10	40	0,108	6×80	480	1,296
4×12	48	0,130	6×100	600	1,620
4×15	60	0,162	8×60	480	1,296
4×20	80	0,216	8×80	640	1,728
4×25	100	0,270	8×100	800	2,160
			8×120	960	2,592
4×30	120	0,324	10×60	600	1,620
4×40	160	0,432	10×80	800	2,160
			12×100	1200	3,24
			12×120	1400	3,888

Примечания:

1. Предел прочности шин при растяжении (не менее) 12 *кг/мм²* при относительном удлинении (не менее) 5%.
2. Удельное электрическое сопротивление шин (не более) 0,0290 *ом · мм²/м*.

Таблица 61

Шины медные прямоугольного сечения

Ширина, *мм*	Толщина, *мм*	Сечение, *мм²*	Вес 1 *м* шины, *кг*	Ширина, *мм*	Толщина, *мм*	Сечение, *мм²*	Вес 1 *м* шины, *кг*
16	11,0	175	1,57	25	14,0	349	3,11
16	12,5	199	1,77	25	16,0	399	3,55
16	14,0	223	1,95	25	18,0	449	4,00
16	16,0	255	2,27	25	20,0	499	4,45
20	10,0	199	1,77	25	25,0	624	5,55
20	11,0	219	1,95	30	6,0	179	1,60
20	12,5	249	2,24	30	6,5	194	1,72
20	14,0	279	2,48	30	7,0	209	1,85
20	16,0	319	2,84	30	8,0	239	2,12
20	18,0	359	3,20	30	9,0	269	2,39
20	20,0	399	3,55	30	10,0	299	2,65
25	8,0	199	1,77	30	11,0	329	2,93
25	9,0	224	2,00	30	12,5	374	3,33
25	10,0	249	2,24	30	14,0	419	3,73
25	11,0	274	2,44	30	16,0	479	4,26
25	12,5	311	2,78	30	18,0	539	4,80

Ширина, *мм*	Толщина, *мм*	Сечение, *мм*²	Вес 1 *м* шины, *кг*	Ширина, *мм*	Толщина, *мм*	Сечение, *мм*²	Вес 1 *м* шины, *кг*
30	20,0	599	5,34	50	4,5	224	2,00
30	25,0	749	6,62	50	5,0	249	2,24
30	30,0	899	8,0	50	5,5	274	2,44
32	6,0	191	1,70	50	6,0	299	2,65
32	6,5	207	1,84	50	6,5	324	2,88
35	5,0	174	1,56	50	7,0	349	3,11
35	5,5	192	1,70	50	8,0	399	3,55
35	6,0	209	1,86	50	9,0	449	4,00
35	6,5	227	2,01	50	10,0	499	4,45
35	8,0	279	2,48	50	11,0	549	4,89
35	10,0	349	3,11	50	12,5	624	5,55
35	12,5	436,6	3,89	50	14,0	699	6,22
35	20,0	699	6,22	50	16,0	799	7,11
40	4,0	159	1,42	50	18,0	899	8,00
40	4,5	179	1,60	50	20,0	999	8,89
40	5,0	199	1,77	55	4,0	219	1,95
40	5,5	219	1,95	55	4,5	247	2,23
40	6,0	239	2,12	55	5,0	274	2,44
40	6,5	259	2,31	55	5,5	302	2,68
40	7,0	279	2,48	55	6,0	329	2,93
40	8,0	319	2,84	55	6,5	357	3,17
40	9,0	359	3,20	55	7,0	384	3,41
40	10,0	399	3,55	55	8,0	439	3,81
40	11,0	439	3,81	55	9,0	494	4,39
40	12,5	499	4,45	55	10,0	549	4,89
40	14,0	559	4,98	55	12,5	687	6,11
40	16,0	639	5,69	55	16,0	879	7,82
40	18,0	719	6,40	55	20,0	1099	9,75
40	20,0	799	7,11	60	4,0	239	2,12
40	25,0	999	8,89	60	4,5	269	2,39
40	30,0	1199	10,65	60	5,0	299	2,67
45	4,0	179	1,60	60	5,5	329	2,93
45	4,5	202	1,80	60	6,0	359	3,20
45	5,0	224	2,00	60	6,5	389	3,47
45	5,5	246	2,23	70	7,0	419	3,73
45	6,0	269	2,39	60	8,0	479	4,26
45	6,5	292	2,60	60	9,0	539	4,81
45	7,0	314	2,80	60	10,0	599	5,34
45	8,0	359	3,20	60	12,5	749	6,67
45	9,0	404	3,60	60	16,0	959	8,53
45	10,0	449	4,00	60	20,0	1199	10,67
45	11,0	494	4,41	65	4,0	259	2,31
45	12,5	561	4,99	65	4,5	292	2,60
45	14,0	629	5,60	65	5,0	324	2,88
45	16,0	719	6,40	65	6,0	389	3,47
45	18,0	809	7,20	65	7,0	454	4,04
45	20,0	899	8,00	65	9,0	584	5,20
45	30,0	1349	12,0	65	10,0	649	5,78
50	4,0	199	1,77	65	12,5	812	7,23

Ширина, *мм*	Толщина, *мм*	Сечение, *мм*²	Вес 1 *м* шины, *кг*	Ширина, *мм*	Толщина, *мм*	Сечение, *мм*²	Вес 1 *м* шины, *кг*
65	16,0	1039	9,25	90	4,0	359	3,20
70	4,0	279	2,48	90	4,5	404	3,60
70	4,5	314	2,80	90	6,0	539	4,81
70	5,0	349	3,11	90	7,0	629	5,60
70	8,0	559	4,98	90	8,0	719	6,40
70	9,0	629	5,60	90	10,0	899	8,00
70	10,0	699	6,22	90	12,5	1124	9,97
70	12,5	874	7,78	100	4,0	399	3,55
70	16,0	1119	9,96	100	4,5	449	4,00
80	4,0	319	2,84	100	5,0	499	4,45
80	4,5	359	3,20	100	6,0	599	5,34
80	5,0	399	3,55	100	7,0	699	6,22
80	6,0	479	4,26	100	8,0	799	7,11
80	7,0	559	4,98	100	10,0	999	8,89
80	8,0	639	5,69	100	12,5	1249	11,12
80	10,0	799	7,11	100	8,0	959	8,51
80	12,5	999	8,89	120	10,0	1199	10,67

§ 40. Монтажные и установочные провода и шнуры

Монтажные провода предназначаются для монтажа электрических аппаратов и приборов (табл. 62).

Установочные провода применяются для распределения электрической энергии в силовых и осветительных сетях, а также для питания промышленных и лабораторных электрических установок (табл. 63, 64).

Таблица 62

Основной сортамент медных монтажных проводов

Марка провода	Сечение, *мм*²	Характеристика провода	Область применения
ПМВ	0,2—0,75	Однопроволочный, изолированный полихлорвиниловым пластикатом, влагостойкий	Применяется для жесткого монтажа при повышенной влажности в устройствах 380 *в* переменного тока и 500 *в* постоянного тока в интервале от —60 до +50° С и при влажности до 95%
ПМОВ	0,2—0,75	Однопроволочный, изолированной обмоткой из х/б пряжи и полихлорвиниловым пластикатом	То же

Марка провода	Сечение, $мм^2$	Характеристика провода	Область применения
ПМВГ	0,2—0,75	То же, но многопроволочный	Применяется для жесткого монтажа при повышенной влажности в устройствах 380 *в* переменного тока и 500 *в* постоянного тока в интервале от —60 до +50° С и при влажности до 95%
МГВ	0,1—1,0	Многопроволочный, изолированный полихлорвиниловым пластикатом, одножильный	То же и для подводки к аккумуляторам в интервале температур от —50 до +70° С
МГВЭ	0,1—1,0	То же, но экранированный	То же
МГВЛ	0,35—5,0	То же, но в оплетке из хлопчатобумажной пряжи, лакированный	»
МГВЛЭ	0,35—2,0	То же, но экранированный	»
МГВСЛ	0,35—3,0	То же, но изолированный полихлорвиниловым пластикатом в оплетке из стекловолокна, лакированный	»
МГСЛЭ	0,35—3,0	То же, но экранированный	»
МГСЛ	0,2—1,5	Многопроволочный, изолированный двойной обмоткой и оплеткой из стеклянных нитей, лакированный	Применяется для фиксированного монтажа в устройствах до 127 *в* с повышенными перегревами в интервале температур от — 60 до +90° С
МГСЛЭ	0,2—1,5	То же, но экранированный	То же, но экранированный
МР	0,35—1,5	Однопроволочный с резиновой изоляцией	Применяется для жесткого монтажа при 380 *в* переменного тока и до 500 *в* постоянного тока в интервале температур от —40 до +65° С
МРГ	0,35—1,95	Многопроволочный с резиновой изоляцией	Применяется для жесткого монтажа при 380 *в* переменного тока и до 500 *в* постоянного тока в интервале температур от —40 до +65°С, но при повышенной влажности

Марка провода	Сечение, $мм^2$	Характеристика провода	Область применения
МРГЛ	0,35—1,95	Многопроволочный с резиновой изоляцией в оплетке из хлопчатобумажной пряжи, лакированный	Применяется для жесткого монтажа при 380 *в* переменного тока и до 500 *в* постоянного тока в интервале температур от —40 до +65°С, но при повышенной влажности
МРГП	0,35—2,5	То же, но в оплетке, пропитанной парафином	То же
МРГПЭ	0,35—1,5	То же, но экранированный	»
МРЛ	0,35—1,5	Однопроволочный с резиновой изоляцией в оплетке из хлопчатобумажной пряжи, лакированный	»
МРП	0,35—1,5	То же, но в оплетке, пропитанной парафином	»
МГЦСЛ	0,35—4	Многопроволочный с пленочной изоляцией в двойной обмотке из стекловолокна, лакированный	Применяется для жесткого монтажа и выводов катушек при напряжениях до 220 *в* переменного тока в интервале температур от —60 до 90° С
МГЦСЛЭ	0,35—4	То же, но экранированный	То же
МШВ	0,2—1,5	Однопроволочный с изоляцией из шелка и полихлорвинилового пластиката	Применяется для фиксированного внутриприборного и межприборного монтажа при напряжении до 1000 *в* при высокой влажности в интервале температур от —50 до +70° С
МГШВ	0,2—1,5	Многопроволочный с шелковой обмоткой в полихлорвиниловой оболочке	То же
МГШВЭ	0,2—1,5	То же, но экранированный	»
МГШВЭВ	0,2—1,5	То же, но в полихлорвиниловой оболочке	»
МШП	0,2—1,5	Одножильный провод с волокнистой и полиэтиленовой изоляцией	»
МГШП	0,2—1,5	Гибкий провод с волокнистой и полиэтиленовой изоляцией	»
МГШПЭ	0,2—1,5	То же, но экранированный	»

Таблица 62 (окончание)

Марка провода	Сечение, *мм*²	Характеристика провода	Область применения
МГТФ	0,2—1,5	Многопроволочный гибкий с фторопластовой нагревостойкой изоляцией	Применяется для жесткого монтажа при напряжениях до 250 *в* в интервале температур от —60 до +220 °С

Таблица 63

Основной сортамент установочных проводов и шнуров с резиновой изоляцией

Марка провода	Сечение, *мм*²	Характеристика провода или шнура	Область применения
ПР	0,75—400 1,5—185[1]	Провод медный с резиновой изоляцией в оплетке из хлопчатобумажной пряжи, пропитанной противогнилостным составом	Применяется в силовых и осветительных сетях внутри помещений и вне зданий при напряжении до 660 *в* переменного тока (ПР-1000) и до 3000 *в* переменного тока (ПР-3000) и в установках постоянного тока напряжением до 1000 *в*
АПР	2,5—400	То же, но жила из алюминия	То же, но в установках с номинальным напряжением 660 *в* переменного тока (АПР-1000) и до 1000 *в* постоянного тока
АПРВ	2,5—6	То же, но внешняя оболочка из полихлорвинила	То же
ПРГ	0,75—400	Провод медный гибкий с резиновой изоляцией в оплетке из хлопчатобумажной пряжи, пропитанной противогнилостным составом	Применяется в качестве соединений электрических машин и аппаратов внутри и вне зданий в установках с напряжением до 660 *в* (ПРГ-1000) и до 3000 *в* (ПРГ-3000)
ПРЛ	0,5—6	Провод медный с резиновой изоляцией в оплетке из хлопчатобумажной пряжи, покрытой лаком	Применяется во вторичных цепях, распределительных шкафах и щитах при напряжениях до 660 *в* переменного тока и 1000 *в* постоянного тока

Марка провода	Сечение, $мм^2$	Характеристика провода или шнура	Область применения
ПРГЛ	0,75—70	То же, но гибкий	То же, но когда требуется гибкость провода
ПРД	0,5—6	Провод гибкий медный с резиновой изоляцией в непропитанной оплетке из хлопчатобумажной пряжи	Применяется в осветительных сетях в сухих помещениях, в установках с номинальным напряжением до 220 *в*
АР	0,5—0,75	Провод одножильный с меньшей гибкостью	Применяется для зарядки осветительных арматур при номинальном напряжении до 220 *в*
ПРТО	1—500	Провод, состоящий из медных жил с резиновой изоляцией, находящихся в общей оплетке из хлопчатобумажной пряжи, пропитанной противогнилостным составом	Применяется в силовых и осветительных сетях (прокладки в стальных трубах и металлических рукавах), в установках на напряжение до 660 *в* переменного тока и 1000 *в* постоянного тока и при переменном напряжении до 2000 *в* (ПРТО-2000)
АПРТО	2,5—400	То же, но с одиночными жилами из алюминия	То же
ПРП	1—95	Провод в резиновой изоляции в гибком панцире из стальных проволок	Для открытых прокладок в установках напряжением до 660 *в* переменного тока и до 1000 *в* постоянного тока
ПРШП	1—95	То же, но провода заключены в общий резиновый шланг, поверх которого панцирь из стальных проволок	То же и во вторичных цепях

Таблица 63 (продолжение)

Марка провода	Сечение, $мм^2$	Характеристика провода или шнура	Область применения
ДПРГ	0,5—10	Две жилы с резиновой изоляцией в общей оплетке из хлопчатобумажной пряжи, пропитанной противогнилостным составом	Применяется для зарядки осветительных арматур в сырых помещениях и вне зданий. При напряжении до 380 *в*
РКГМ	0,75—95	Провод гибкий медный, жила изолирована нагревостойкой кремнийорганической резиной, поверх которой имеется обмотка, а затем оплетка из стекловолокна, пропитанные кремнийорганическим лаком	Применяется для изготовления выводов электродвигателей и аппаратов с повышенными рабочими температурами до 180° С в сетях с напряжением до 380 *в* при открытой прокладке и в трубах
ШР	0,5—1,5	Шнур из двух гибких медных жил с резиновой изоляцией, поверх которой имеется непропитанная оплетка из хлопчатобумажной пряжи	Применяется в осветительных сетях и для присоединения подвижных токоприемников с номинальным напряжением до 220 *в*
ТПРФ	1—10	Провод из одной или нескольких медных жил, изолированных резиной. Одиночная или скрученные жилы обмотаны прорезиненной тканью и заключены в общую фальцованную металлическую оболочку	Применяется в силовых и осветительных сетях в сухих помещениях при возможности легких механических воздействий на провод. При переменном напряжении до 660 *в* и 1000 *в* при постоянном
АТПРФ	2,5—4	Провод с алюминиевыми жилами в металлической оболочке с фальцованным швом	То же
АПН	2,5—6	Провод с алюминиевыми жилами с резиновой негорючей изоляцией	Для скрытых прокладок под штукатуркой при переменном напряжении до 660 *в* и до 1000 *в* при постоянном

Примечание. Провода сечением 1,5—185 $мм^2$ применяются на напряжения до 3000 *в* переменного тока.

Таблица 64

Основной сортамент установочных проводов с пластмассовой изоляцией

Марка провода	Сечение, $мм^2$	Характеристика провода	Область применения
ПВ	0,75—95	Провод с медной жилой, изолированной полихлорвиниловым пластикатом	Осветительные и силовые сети внутри помещений при температуре не выше 40° С и в сырых и особо сырых помещениях и для вторичных цепей до 660 *в* (переменное напряжение) и 1000 *в* (постоянное напряжение)
АПВ	2,5—120	То же, но с алюминиевой жилой	То же
АПП	2,5—120	То же, но жила имеет полиэтиленовую изоляцию	»
ППВ	0,75—4	Провод плоский с медными жилами, уложенными параллельно и заключенными в полихлорвиниловую изоляцию	»
АППВ	2,5—6	То же, плоский с алюминиевыми жилами	»
ППВС	0,75—4	То же, но без разделительного основания	Для скрытой проводки напряжения до 660 *в* переменного тока и до 1000 *в* постоянного
АППВС	2,5—6	То же, но с алюминиевыми жилами	То же
ПГВ	0,75—95	Провод с гибкой медной жилой, состоящей из тонких проволок. Жила изолирована полихлорвиниловым пластикатом	Осветительные и силовые сети, а также для вторичных цепей станков и механизмов при 500 *в* (переменное напряжение) и 1000 *в* (постоянное напряжение)
ПП	0,5—95	То же, но жила имеет полиэтиленовую изоляцию	То же
УВГ	1,5—25	Провод с гибкой медной жилой. Жила изолирована полихлорвиниловым пластикатом	Для работы в полевых условиях при —50° С до +40° С и повышенной влажностью при напряжениях до 380 *в* переменного тока
УВОГ	1,5—6,0	То же, но с особо гибкой жилой	То же

§ 41. Силовые кабели с резиновой и бумажной изоляцией

В табл. 65—67 приводятся основные характеристики широко применяемых силовых кабелей.

Таблица 65

Основной сортамент силовых кабелей с резиновой изоляцией жил

Марка кабеля	Число жил и сечение, *мм²*	Особенности конструкции кабеля	Область применения
СРГ	(1—3)* 1,5—500	В свинцовой оболочке голый небронированный (без покровов)	Для прокладки в сухих и сырых помещениях при отсутствии механических воздействий на кабель
АСРГ	(1) 4—500	То же, но с алюминиевыми жилами	То же
СРБ	(2) 1—185	В свинцовой оболочке, бронированный двумя стальными лентами, но поверх броневого покрова имеется наружный покров из пропитанной кабельной пряжи	Для прокладки в земле и вне зданий при необходимости защиты кабеля от механических воздействий
АСРБ	(2) 4—185	То же, но с алюминиевыми жилами	То же
СРБГ	(3) 1—185	В свинцовой оболочке, бронированный двумя стальными лентами (без покровов)	Для прокладки в сухих и сырых помещениях при необходимости защиты кабеля от возможных механических воздействий
АСРБГ	(3) 4—185	То же, но с алюминиевыми жилами	То же
СРП	(2—3) 1—185	В свинцовой оболочке, бронированный плоскими стальными проволоками, но поверх броневого покрова имеется наружный покров из пропитанной пряжи	Для прокладки в земле и вне зданий при необходимости защиты кабеля от механических повреждений и при наличии растягивающих усилий на кабель
АСРП	(2—3) 4—185	То же, но с алюминиевыми жилами	То же
СРПГ	(2—3) 1—185	В свинцовой оболочке, бронированный плоскими стальными проволоками (без покровов), оцинкованными	Для прокладки в сухих и сырых помещениях при необходимости защиты кабеля от возможных механических воздействий и при наличии растягивающих усилий на кабель
АСРПГ	(2—3) 4—185	То же, но с алюминиевыми жилами	То же

Таблица 65 (продолжение)

Марка кабеля	Число жил и сечение, $мм^2$	Особенности конструкции кабеля	Область применения
ВРГ	(1—3) 1—240	В полихлорвиниловой оболочке, небронированный (без покровов)	В сырых и особо сырых помещениях при отсутствии механических воздействий на кабель
АВРГ	(1—3) 4—185	То же, но с алюминиевыми жилами	То же
ВРБ	(2—3) 1—185	В полихлорвиниловой оболочке, бронированный, но поверх броневого покрова имеется наружный покров из пропитанной кабельной пряжи	Для прокладки в земле и вне зданий, при необходимости защиты кабеля от механических повреждений
АВРБ	(2—3) 4—185	То же, но с алюминиевыми жилами	То же
ВРБГ	(2—3) 1—185	В полихлорвиниловой оболочке, бронированный двумя стальными лентами (без покровов)	В сухих и сырых помещениях при необходимости защиты кабеля от возможных механических повреждений
АВРБГ	(2—3) 4—185	То же, но с алюминиевыми жилами	То же

* В скобках приведено число жил.

Таблица 66

Основной сортамент силовых кабелей с бумажной пропитанной изоляцией в алюминиевой оболочке

Марка кабеля	Число жил и сечение, $мм^2$	Особенности конструкции кабеля	Область применения
АГ	(3—4) 6—120	С медными жилами, небронированный и без защитных покровов	Для прокладки внутри помещений по стенам и в каналах при отсутствии механических воздействий на кабель, в среде нейтральной по отношению к алюминию
ААГ	(3—4) 6—120	То же, но с алюминиевыми жилами	То же
АГВ	(3—4) 6—120	То же, что и кабель АГ, но с обедненной изоляцией жил	То же, но для крутонаклонной прокладки. При промежуточных креплениях разность уровней кабеля не ограничена
ААГВ	(3—4) 6—120	То же, но с алюминиевыми жилами	То же

Марка кабеля	Число жил и сечение, $мм^2$	Особенности конструкции кабеля	Область применения
АБ	(3—4) 6—120	С медными жилами, бронированный двумя стальными лентами с наружным защитным покровом	Для прокладки в земле и по стенам вне зданий, где возможны механические воздействия на кабель
ААБ	(3—4) 6—120	То же, но с алюминиевыми жилами	То же
АБВ	(3—4) 6—120	То же, что и кабель АБ, но с обедненной изоляцией жил	То же, но для крутонаклонной прокладки. При промежуточных креплениях разность уровней кабеля не ограничена
ААБВ	(3—4) 6—120	То же, но с алюминиевыми жилами	То же
АБГ	(3—4) 6—120	С медными жилами, бронированный двумя стальными лентами без наружного защитного покрова	Для прокладки внутри помещений при необходимости защиты кабеля от возможных механических воздействий
ААБГ	(3—4) 6—120	То же, но с алюминиевыми жилами	То же
АБГВ	(3—4) 6—120	То же, что и кабель АБГ, но с обедненной изоляцией жил	То же, но для крутонаклонной прокладки. При промежуточных креплениях разность уровней кабеля не ограничена
ААБГВ	(3—4) 6—120	То же, но с алюминиевыми жилами	То же
АП	(3—4) 16—120	С медными жилами, бронированный плоскими стальными оцинкованными проволоками и с наружным защитным покровом	Для прокладки в земле и по стенам вне зданий при растягивающих нагрузках и при необходимости защиты от механических воздействий
ААП	(3—4) 16—120	То же, но с алюминиевыми жилами	То же
АПВ	(3—4) 16—120	То же, что и кабель АП, но с обедненной изоляцией жил	То же, но для крутонаклонной прокладки. При промежуточных креплениях разность уровней кабеля не ограничена
ААПВ	(3—4) 16—120	То же, но с алюминиевыми жилами	То же

Таблица 66 (продолжение)

Марка кабеля	Число жил и сечение, $мм^2$	Особенности конструкции кабеля	Область применения
АПГ	(3—4) 16—120	С медными жилами, бронированный плоскими стальными оцинкованными проволоками без наружного защитного покрова	Для прокладки внутри помещений при наличии растягивающих нагрузок и при необходимости защиты кабеля от возможных механических воздействий
ААПГ	(3—4) 16—120	То же, но с алюминиевыми жилами	То же
АПГВ	(3—4) 16—120	То же, что и кабель АПГ, но с обедненной изоляцией жил	То же, но для крутонаклонной прокладки. При промежуточных креплениях разность уровней кабеля не ограничена
ААПГВ	(3—4) 16—120	То же, но с алюминиевыми жилами	То же

Таблица 67

Основной сортамент силовых кабелей с бумажной пропитанной изоляцией в свинцовой оболочке

Марка кабеля	Число жил* и сечение, $мм^2$	Особенности конструкции кабеля	Область применения
СГТ	(1—4) 6—800	С медными жилами, небронированный с усиленной свинцовой оболочкой	Для прокладки в блочной канализации и по стенам внутри помещений при отсутствии механических воздействий на кабель
АСГТ	(1—4) 6—800	То же, но с алюминиевыми жилами	Для прокладки по стенам внутри помещений. Прокладка в трубах и блоках допустима для сечений от 95 $мм^2$ и выше
СБ	(1—4) 4—800	С медными жилами, бронированный стальными лентами с наружным защитным покровом	Для прокладки в земле и по стенам вне зданий при необходимости защиты кабеля от механических повреждений
АСБ	(1—4) 4—800	То же, но с алюминиевыми жилами	То же

Марка кабеля	Число жил* и сечение, $мм^2$	Особенности конструкции кабеля	Область применения
СБВ	(1—4) 4—500	С медными жилами. Бронированный стальными лентами с наружным защитным покровом с обедненной изоляцией жил	Для прокладки в земле и по стенам зданий в наклонном положении (при разности уровней до 100 *м*)—при промежуточных креплениях кабеля
АСБВ	(1—4) 4—500	То же, но с алюминиевыми жилами	То же
СП	(1—4) 16—800	С медными жилами. Бронированный плоскими стальными проволоками с наружным защитным покровом	Для прокладки в земле, но при наличии растягивающих нагрузок
АСП	(1—4) 16—800	То же, но с алюминиевыми жилами	То же
СПВ	(1—4) 16—500	То же, что кабель СП, но с обедненной изоляцией жил	То же, что и для кабеля марки СБВ
АСПВ	(1—4) 16—500	То же, но с алюминиевыми жилами	То же
СПГ	(1—4) 25—800	С медными жилами, бронированный плоскими стальными проволоками без наружного защитного покрова	Для прокладки внутри зданий при наличии растягивающих механических нагрузок
АСПГ	(1—4) 25—800	То же, но с алюминиевыми жилами	То же
СПГВ	(1—4) 16—500	То же, что и кабель СПГ, но с обедненной изоляцией жил	Для прокладки внутри зданий в наклонном положении (при разности уровней до 100 *м*) при промежуточных креплениях кабеля
АСПГВ	(1—4) 16—500	То же, но с алюминиевыми жилами	То же
СК	(4) 25—120	Бронированный круглыми стальными оцинкованными проволоками с наружным защитным покровом	Для прокладки под водой (несудоходные водоемы)
АСК	(4) 25—120	То же, но с алюминиевыми жилами	То же
СКВ	(4) 25—120	То же, что и кабель СК, но с обедненной изоляцией	То же, но в наклонном положении (при разности уровней до 100 *м*)
АСКВ	(4) 25—120	То же, но с алюминиевыми жилами	То же

* Наибольшие сечения жил имеют кабели на более низкие напряжения, например кабель марки СГТ на напряжение 1 *кв* имеет жилу сечением 800 $мм^2$. Этот же кабель на напряжение 35 *кв* имеет жилу сечением 300 $мм^2$.

ГЛАВА IV

МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

§ 42. Основные характеристики магнитных материалов

Величины, с помощью которых оцениваются магнитные свойства материалов, называются *магнитными характеристиками.* Основные магнитные характеристики следующие (в системе единиц СИ):

Абсолютная магнитная проницаемость материала μ_a, равная

$$\mu_a = \mu_0 \mu \ гн/м,$$

где μ_0 — магнитная постоянная — величина, характеризующая магнитное поле в вакууме.

$$\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \ гн/м = 1{,}256637 \cdot 10^{-6} \ гн/м,$$

μ — относительная магнитная проницаемость или магнитная проницаемость (величина безразмерная).

Абсолютная магнитная проницаемость равна отношению величины магнитной индукции B к величине напряженности магнитного поля H в данном материале:

$$\mu_a = \frac{B}{H} \ гн/м.$$

Для оценки свойств магнитных материалов обычно пользуются относительной магнитной проницаемостью μ. При этом различают (рис. 78):

$\mu_н$ — начальная магнитная проницаемость, измеряемая в очень слабых магнитных полях — при значениях напряженности магнитного поля H, близких к нулю;

$\mu_м$ — максимальная магнитная проницаемость.

ТКμ — температурный коэффициент магнитной проницаемости. Он характеризует изменение магнитной проницаемости при изменении температуры магнитного материала.

При линейном изменении μ температурный коэффициент магнитной проницаемости определяется так:

$$ТК\mu = \frac{\mu_2 - \mu_1}{\mu_1} \cdot \frac{1}{t_2 - t_1} \ 1/град,$$

где μ_1 — начальная магнитная проницаемость материала при температуре t_1;

μ_2 — начальная магнитная проницаемость материала при температуре t_2.

Коэрцитивная сила H_c (рис. 79) — это напряженность магнитного

поля на статической предельной петле гистерезиса[1], при которой индукция в материале равна нулю ($B = 0$).

Напряженность магнитного поля H и коэрцитивная сила H_c измеряются в амперах на метр (*а/м*), в килоамперах на метр (*ка/м*), а также в амперах на сантиметр (*а/см*). Соотношение между этими единицами: 1 *а/см* $= 100 \frac{а}{м}$; $1 \frac{ка}{м} = 1000 \frac{а}{м}$. Магнитный поток Φ измеряется в веберах (*вб*).

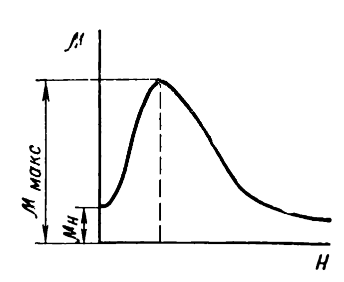


Рис. 78. График зависимости магнитной проницаемости материала от напряжения магнитного поля

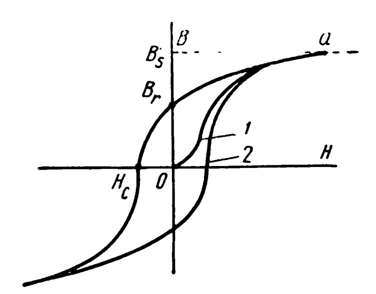


Рис. 79. Основная кривая намагничивания (*1*) и статическая петля (*2*) гистерезиса

Остаточная магнитная индукция B_r — индукция в намагниченном до насыщения материале (см. рис. 79), при которой напряженность магнитного поля равна нулю ($H = 0$).

Индукция B и остаточная магнитная индукция B_r измеряются в тесла (*тл*); 1 *тл* = 1 *вб/м*^{2}.

Индукция насыщения B_s (см. рис. 79) тоже измеряется в тесла (*тл*).

$P_г$ — мощность, расходуемая на перемагничивание материала в переменном магнитном поле (потери на гистерезис), *вт*;

$P_в$ — мощность, расходуемая на вихревые токи в магнитном материале (потери на вихревые токи), *вт*.

Площадь петли гистерезиса для данного материала пропорциональна потерям на гистерезис и на вихревые токи.

p — удельные потери в магнитном материале, возникающие при заданной магнитной индукции B и частоте f переменного поля. Это полные потери ($P_г + P_в$), отнесенные к 1 *кг* материала (*вт/кг*).

Измерение удельных потерь производится при синусоидальной форме переменной магнитной индукции. Удельные потери при индукции $B = 1$ *тл* (10 000 *гс*) и частоте 50 *гц* обозначаются P 10/50; при индукции $B = 1{,}5$ *тл* (15 000 *гс*) и частоте 50 *гц* удельные потери обозначаются P 15/50 и т. д.

ρ — удельное электрическое сопротивление, является электрической характеристикой магнитных материалов. Величину ρ измеряют

---

[1] Статической (предельной) петлей гистерезиса называют петлю, снятую при медленном изменении магнитного поля при максимально возможных значениях напряженности от $+H_{макс}$ до $-H_{макс}$.

в *ом·мм²/м*. Эта характеристика определяет потери на вихревые токи в материале.

Основной характеристикой магнитного материала при работе в переменном магнитном поле является амплитудная магнитная проницаемость (динамическая проницаемость), определяемая, как отношение максимального значения индукции ($B_м$) к максимальному значению напряженности ($H_м$) на динамической кривой индукции, снятой в переменном поле

$$M_{\sim}=\frac{B_м}{H_м}.$$

При низких частотах и малой толщине магнитного материала динамическая кривая индукции совпадает со статической кривой

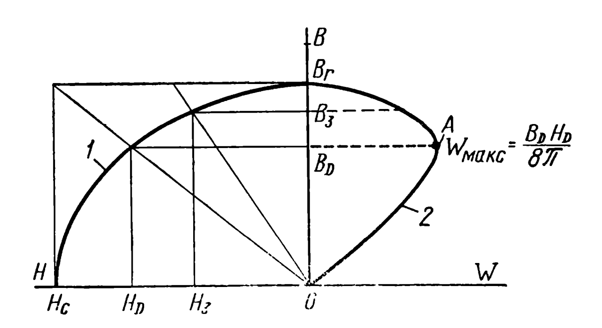


Рис. 80. Кривая размагничивания (*1*) и кривая магнитной энергии (*2*) магнитно-твердого материала

индукции. При этом значение динамической проницаемости совпадает с значением проницаемости, вычисленной из статической основной кривой намагничивания.

$K=\frac{B_r}{B_s}$ — коэффициент прямоугольности гистерезисной петли, определяемый по статической предельной петле.

Магнитно-твердые материалы оценивают еще величиной максимальной энергии магнитного поля, создаваемого магнитом в воздушном зазоре (между полюсами магнита), отнесенной к единице объема магнита (рис. 80). Это удельная объемная плотность энергии[1]

$$W=\left(\frac{B_d H_d}{2}\right)_{макс} \quad дж/м^3.$$

Магнитострикция — явление изменения размеров магнитного материала под действием намагничивающего поля, т. е. в результате

[1] W — магнитная энергия, создаваемая магнитом в воздушном зазоре, отнесенная к единице объема магнита. При конструировании постоянных магнитов необходимо иметь максимально возможную величину W,

намагничивания и перемагничивания материала. Магнитострикция может быть положительной или отрицательной, что соответствует удлинению или укорочению ферромагнитного материала.

Ввиду того, что еще в ГОСТах и в технических условиях на магнитные материалы магнитные характеристики приводятся в единицах системы СГСМ (абсолютная электромагнитная система единиц), ниже (табл. 68) приводятся соотношения между единицами магнитных характеристик СИ и СГСМ.

Таблица 68

Магнитная характеристика	Обозначение	Единицы измерения в системе СИ	Единицы измерения в системе СГСМ	Соотношение единиц
Абсолютная магнитная проницаемость	μ_a	$\frac{гн}{м}$ $\left(\frac{генри}{метр}\right)$	—	—
Магнитная проницаемость	μ	—	$\frac{гс}{э}$ $\left(\frac{гаусс}{эрстед}\right)$	—
Коэрцитивная сила	H_c	$\frac{а}{м}$ $\left(\frac{ампер}{метр}\right)$	*э* (эрстед)	$1\frac{а}{м}=1{,}256\cdot10^{-2}$ *э*
Магнитный поток	Φ	*вб* (вебер)	*мкс* (максвелл)	1 *вб*$=10^8$ *мкс*
Остаточная магнитная индукция	B_r	*тл* (тесла)	*гс* (гаусс)	1 *тл*$=1\frac{вб}{м^2}=10^4$ *гс*
Индукция насыщения	B_s	*тл* (тесла)	*гс* (гаусс)	1 *тл*$=1\frac{вб}{м^2}=10^4$ *гс*
Удельные потери в магнитном материале	p	$\frac{вт}{кг}$ $\left(\frac{ватт}{килограмм}\right)$	$\frac{вт}{кг}$ $\left(\frac{ватт}{килограмм}\right)$	—
Объемная плотность магнитной энергии	W	$\frac{дж}{м^3}$ $\left(\frac{джоуль}{куб.\ метр}\right)$	$\frac{эрг}{см^3}$ $\left(\frac{эрг}{куб.\ см}\right)$	$1\frac{дж}{м^3}=10\frac{эрг}{см^3}$; $1\frac{эрг}{см^3}=0{,}1\frac{дж}{м^3}$

Примечание: 1 *тл* $=1\frac{вб}{м^2}$ $\left(\frac{вебер}{кв.\cdot метр}\right)$; 1 *гс*$=1\cdot10^{-4}$ *тл*$=10^{-4}\frac{вб}{м^2}$; 1 *мкс*$=10^{-8}$ *вб*; $1\frac{вб}{см^2}=1\cdot10^4\frac{вб}{м^2}=1\cdot10^8$ *гс*.

Магнитные свойства материалы сохраняют только до определенной температуры Кюри (T_K). При превышении этой температуры магнитные свойства материалов практически исчезают.

§ 43. Классификация магнитных материалов

Все магнитные материалы делятся на две основные группы: магнитно-мягкие и магнитно-твердые.

Магнитно-мягкие материалы отличаются малыми потерями на гистерезис (узкая гистерезисная петля). Они обладают относительно большими значениями магнитной проницаемости, малой коэрцитивной силой и относительно большой индукцией насыщения. Магнитно-мягкие материалы применяются для изготовления магнитопроводов трансформаторов, электрических машин и аппаратов, магнитных экранов и др., где требуется намагничивание с малыми потерями энергии.

Магнитно-твердые материалы отличаются широкой гистерезисной петлей, т. е. обладают большой коэрцитивной силой и большой остаточной индукцией. Эти материалы, будучи намагниченными, могут длительное время сохранять сообщенную им магнитную энергию, т. е. могут служить источниками постоянного магнитного поля.

Магнитно-твердые материалы применяются для изготовления постоянных магнитов.

Магнитные материалы делят на три группы согласно их основе: металлические материалы, неметаллические материалы, магнитодиэлектрики.

К металлическим магнитно-мягким материалам относятся: чистое (электролитическое) железо, листовая электротехническая сталь, железо-армко, пермаллой (железоникелевые сплавы) и др.

К металлическим магнитно-твердым материалам относятся: легированные стали (закаливаемые на мартенсит), специальные сплавы на основе железа, алюминия и никеля и легирующих компонентов (кобальт, кремний и др.).

К неметаллическим магнитным материалам относятся ферриты (оксиферы). Это материалы, получаемые из порошкообразной смеси окислов некоторых металлов и окиси железа. Отпрессованные ферритовые изделия (сердечники, кольца и др.) подвергают высокотемпературной обработке — обжигу при температуре 1300—1500° С. Различают ферриты магнитно-мягкие и магнитно-твердые.

Магнитодиэлектрики — композиционные материалы, состоящие из 70—80% порошкообразного магнитного материала и 30—20% органического высокополимерного диэлектрика.

Ферриты и магнитодиэлектрики отличаются от металлических магнитных материалов большими значениями удельного объемного сопротивления ($\varrho = 10^2 \div 10^{10}$ *ом·см*), что резко снижает потери на вихревые токи. Это позволяет использовать эти материалы в технике высоких частот. Кроме того, ферриты обладают стабильностью своих магнитных характеристик в широком диапазоне частот.

§ 44. Электротехническая листовая сталь

Электротехническая сталь является магнитно-мягким материалом. Для улучшения ее магнитных характеристик в нее вводят кремний, который также повышает величину удельного сопротивления стали, что приводит к уменьшению потерь на вихревые токи.

Согласно ГОСТу выпускаются стали следующих марок: а) Э310, Э320, Э330, Э330А, Э340, Э370 и Э380 — холоднокатаная текстурованная сталь (Э310, Э320 и Э330 — рулонные стали); б) Э1100, Э1200, Э1300, Э3100, Э3200 — холоднокатаная малотекстурованная сталь, в) Э11, Э12, Э13, Э21, Э22, Э31, Э32, Э41, Э42, Э43, Э43А, Э44, Э45, Э46, Э47, Э48 — горячекатаная нетекстурованная сталь.

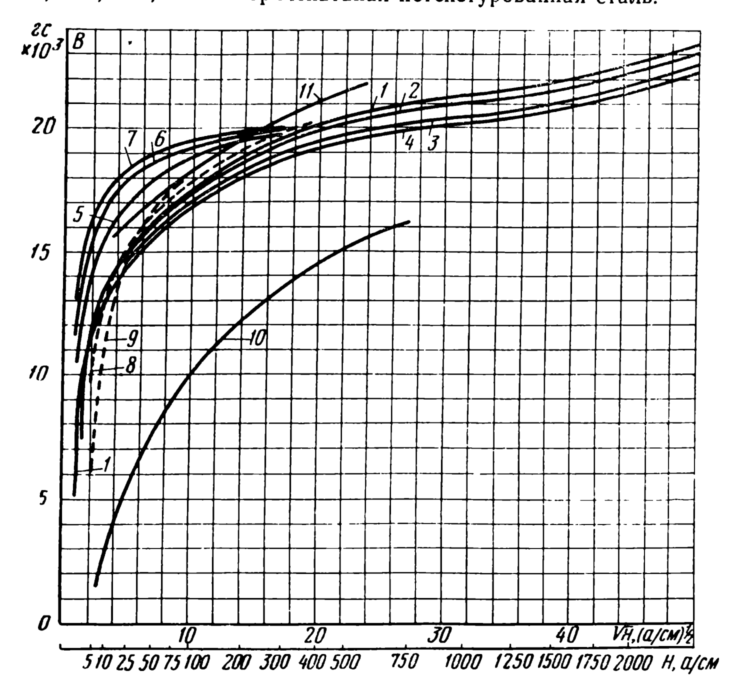


Рис. 81. Кривые намагничивания некоторых электротехнических сталей:

1 — сталь Э11, *2* — сталь Э21, *3* — сталь Э31, *4* — сталь Э41, *5* — сталь Э310, *6* — сталь Э320, *7* — сталь Э330, *8* — листовая сталь для полюсов, *9* — литая сталь, *10* — чугун, *11* — сталь Э

Значения букв и цифр в марках стали следующие: Э — электротехническая сталь; цифры 1, 2, 3, 4, стоящие на первом месте за буквой Э, указывают степень легирования стали кремнием: 1 — слаболегированная сталь (Si = 0,8÷1,8%); 2 — среднелегированная сталь (Si = 1,8÷2,8%); 3 — повышеннолегированная сталь (Si = 2,8÷4%; 4 — высоколегированная сталь (Si = 4,0÷4,8%). Цифры, стоящие на втором месте после буквы Э, означают: 1 — нормальные удельные потери; 2 — пониженные удельные потери, 3 — низкие удельные потери. Буква А — очень низкие удельные потери, 4 — низкие удельные потери на частоте 400 *гц* и магнитная индукция в средних полях, 5 — нормальная магнитная проницаемость в слабых магнитных полях[1], 6 — повышенная магнитная проницаемость, 7 — нормальная

[1] Слабые поля: 0,002—0,008 *а/см*

магнитная проницаемость в средних магнитных полях, 8 — повышенная магнитная проницаемость в средних полях [1].

Третья цифра (0) обозначает, что сталь холоднокатаная текстурованная; третья и четвертая цифры (00) обозначают, что сталь холоднокатаная малотекстурованная. Все перечисленные обозначения марок относятся к стали нормальной точности проката и нормальной отделки поверхности. Для сортов стали с повышенной точностью проката и с повышенной отделкой поверхности в обозначениях марок стали вводится в конце марки буква П.

Наибольшая величина магнитной индукции в текстурованных сталях достигается, когда направление магнитного поля совпадает с направлением прокатки листа или составляет с ним угол 180°. В связи с этим при сборке Ш-образных сердечников необходимо применять отдельные полосы стали, вырезанные в направлении прокатки. Эти полосы затем шихтуют так, чтобы направление магнитного потока совпадало с направлением прокатки или составляло бы с ним угол в 180°.

Электротехническая сталь выпускается в виде листов толщиной 0,1; 0,2; 0,35; 0,5 и 1,0 *мм*, шириной от 240 до 1000 *мм* и длиной от 720 до 2000 *мм*.

Таблица 69

Сортамент листовой электротехнической стали

Марка стали	Толщина, *мм*	Ширина, *мм*	Длина, *мм*
Э11, Э12	1,00	750	1500
	1,00	860	1720
	1,00	1000	2000
Э11, Э12, Э13, Э21, Э22	0,50	600	1200
	0,50	670	1340
	0,50	750	1500
	0,50	860	1720
	0,50	1000	2000
Э31, Э32, Э41, Э42, Э43, Э43А	0,50	600	1500
	0,50	750	1500
	0,50	860	1720
	0,50	1000	2000
	0,35	750	1500
	0,35	1000	2000
Э44	0,35	750	1500
	0,20	700	720
	0,20	700	1400
	0,10	700	710
Э45, Э46, Э47, Э48	0,35	750	1500
	0,20	700	720
	0,20	700	1400
Э1100, Э1200, Э1300, Э3100, Э3200	0,50	600	1500
	0,50	670	1340
	0,50	750	1500
	0,50	860	1720
	0,50	1000	2000
Э310, Э320, Э330	0,50	600	1500
	0,50	750	1500
	0,50	860	1720
	0,50	1000	2000
Э310, Э320, Э330, Э330А	0,35	240	1500
	0,35	750	1500
	0,35	1000	2000
Э340	0,20	240	1500
	0,20	750	1500
Э370, Э380	0,50	600	1500
	0,50	750	1500
	0,35	240	1500
	0,35	750	1500
	0,20	240	1500
	0,20	750	1500

В табл. 69—75 представлены сортамент и основные характеристики листовой электротехнической стали. Кроме кремнистой электро-

[1] Средние поля: 0,03—1,0 *а/см*

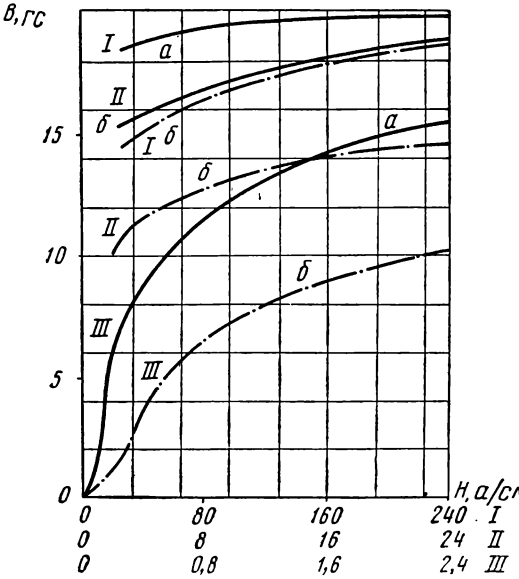
Таблица 70

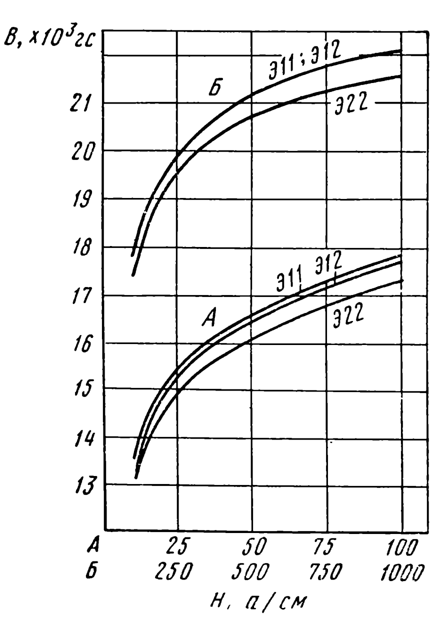
Основные характеристики листовой электротехнической стали (по ГОСТ)

Характер обработки стали	Марка	Толщина листа, *мм*	Магнитная индукция, *гс*, при напряженности магнитного поля, *а/см*					Полные удельные потери при 50 *гц* при наибольших значениях индукции (*вт/кг*)			Удельное электрическое сопротивление, *ом·мм²/м*, не менее
			10	25	50	100	300	10000	15000	17000	
			не менее					не более			
Горячекатаная	Э11	1,00	—	15 300	16 300	17 600	20 000	5,80	13,4	—	0,25
	Э11	0,50	—	15 300	16 400	17 600	20 000	3,30	7,7	—	0,25
	Э12	1,00	—	15 000	16 200	17 500	19 800	5,50	12,5	—	0,25
	Э12	0,50	—	15 000	16 200	17 500	19 800	3,20	7,5	—	0,25
	Э13	0,50	—	15 000	16 200	17 500	19 800	2,80	6,5	—	0,25
	Э21	0,50	—	14 800	15 900	17 300	19 500	2,50	6,1	—	0,40
	Э22	0,50	—	14 800	15 900	17 300	19 500	2,20	5,3	—	0,40
	Э31	0,50	—	14 600	15 700	17 200	19 400	2,00	4,4	—	0,50
	Э31	0,35	—	14 600	15 700	17 100	19 200	1,60	3,6	—	0,50
	Э32	0,50	—	14 600	15 700	17 100	19 200	1,80	3,9	—	0,50
	Э32	0,35	—	14 600	15 700	17 100	19 200	1,40	3,2	—	0,50
	Э41	0,50	13 000	14 600	15 700	17 000	19 000	1,55	3,5	—	0,60

	Э41	0,35	13 000	14 600	15 700	17 000	19 000	1,35	3,0	—	0,60
	Э42	0,50	12 900	14 500	15 600	16 900	18 900	1,40	3,1	—	0,60
	Э42	0,35	12 900	14 500	15 600	16 900	18 900	1,20	2,8	—	0,60
	Э43	0,50	12 900	14 400	15 500	16 900	18 900	1,25	2,9	—	0,60
	Э43	0,35	12 900	14 400	15 500	16 900	18 900	1,05	2,5	—	0,60
	Э43А	0,50	12 900	14 400	15 500	16 900	18 900	1,15	2,7	—	0,60
	Э43А	0,35	12 900	14 400	15 500	16 900	18 900	0,90	2,2	—	0,60
Холоднокатаная малотекстурованная	Э1100	0,50	—	15 300	16 400	17 600	20 000	3,30	7,5	—	0,25
	Э1200	0,50	—	15 300	16 400	17 600	20 000	2,80	6,5	—	0,25
	Э1300	0,50	—	15 500	16 400	17 600	20 000	2,50	5,8	—	0,25
	Э3100	0,50	—	15 000	16 000	17 300	19 600	1,70	3,7	—	0,50
	Э3200	0,50	—	14 800	15 800	17 200	19 500	1,50	3,4	—	0,50
Холоднокатаная текстурованная сталь	Э310	0,50	16 000	17 500	18 300	19 100	19 800	1,10	2,45	3,2	0,50
	Э310	0,35	16 000	17 500	18 300	19 100	19 800	0,80	1,75	2,5	0,50
	Э320	0,50	16 500	18 000	18 700	19 200	20 000	0,95	2,1	2,8	0,50
	Э320	0,35	16 500	18 000	18 700	19 200	20 000	0,70	1,5	2,2	0,50
	Э330	0,50	17 000	18 500	19 000	19 500	20 000	0,80	1,75	2,5	0,50
	Э330	0,35	17 000	18 500	19 000	19 500	20 000	0,60	1,3	1,9	0,50
	Э330А	0,35	17 000	18 500	19 000	19 500	20 000	0,50	1,1	1,6	0,50

Примечание. Характеристики горячекатаных сталей и холоднокатаной малотекстурованной стали марок: Э1100, Э1200, Э1300, Э3100, Э3200 даны для образцов, не подвергавшихся отжигу (после резки). Свойства холоднокатаной текстурованной стали марок: Э310, Э330, Э330А даны для образцов, подвергавшихся отжигу (после резки). В случае испытания образцов этих текстурованных сталей, не подвергнутых отжигу, полные удельные потери снижаются на 10% по сравнению с величинами потерь, приведенными в таблице.





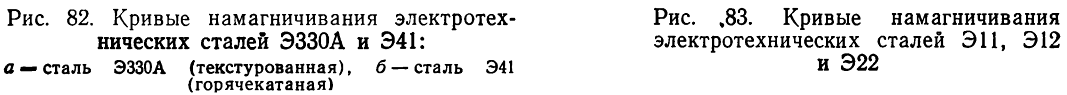


Рис. 82. Кривые намагничивания электротехнических сталей Э330А и Э41:

а — сталь Э330А (текстурованная), *б* — сталь Э41 (горячекатаная)

Рис. 83. Кривые намагничивания электротехнических сталей Э11, Э12 и Э22

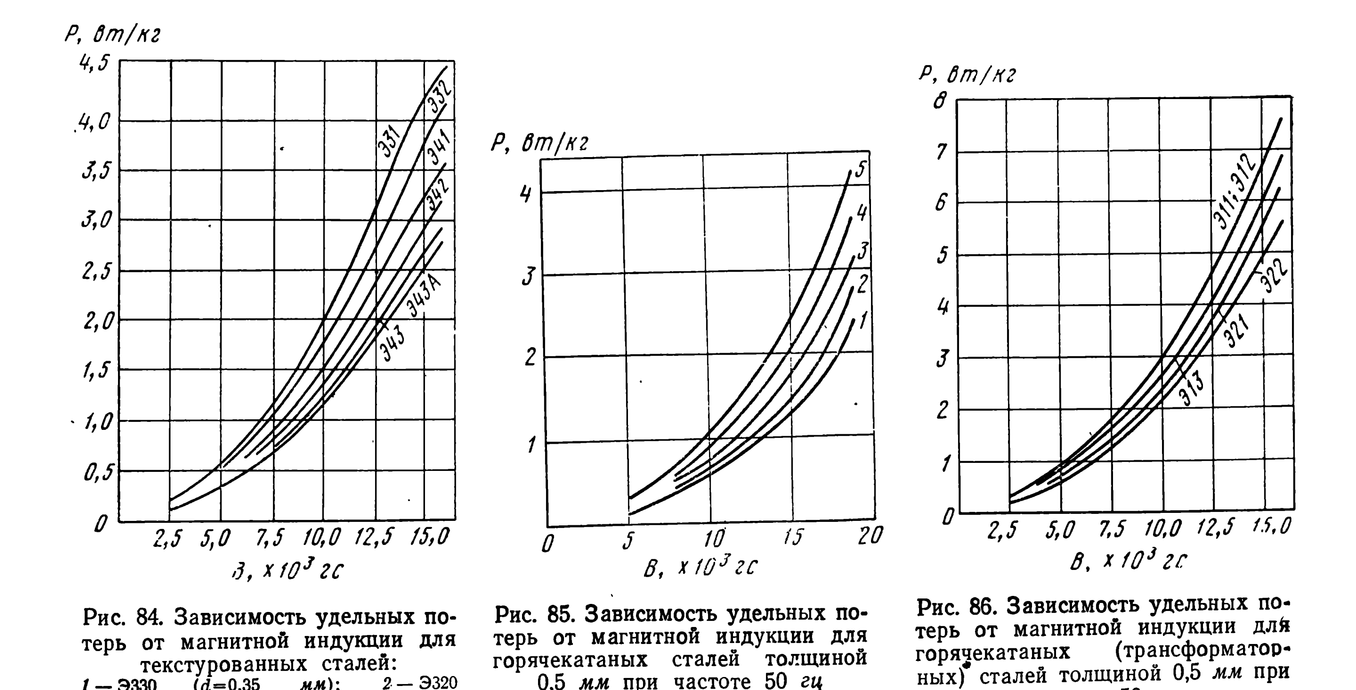


Рис. 84. Зависимость удельных потерь от магнитной индукции для текстурованных сталей:
1 — Э330 (d=0,35 *мм*); *2* — Э320 (d=0,35 *мм*); *3* — Э310 (d=0,35 *мм*), *4* — Э320 (d=0,5 *мм*); *5* — Э310 (d=0,5 *мм*) при частоте 50 *гц*

Рис. 85. Зависимость удельных потерь от магнитной индукции для горячекатаных сталей толщиной 0,5 *мм* при частоте 50 *гц*

Рис. 86. Зависимость удельных потерь от магнитной индукции для горячекатаных (трансформаторных) сталей толщиной 0,5 *мм* при частоте 50 *гц*

Таблица 71

Магнитные свойства листовой электротехнической стали

Марка стали	Толщина листа, *мм*	Магнитная индукция, *гс*, при напряженности поля, *а/см*			Полные удельные потери при 400 *гц*, *вт/кг*		Удельное электрическое сопротивление, *ом·мм²/м*
		5	10	25	7500 *гс*	10 000 *гс*	
		не менее			не более		
Э44	0,35	12100	13000	14400	10,7	19	0,57
Э44	0,20	12000	12900	14200	7,2	12,5	0,57
Э44	0,10	11900	12800	14000	6	10,5	0,57
Э340	0,20	15000	16000	17000	7	12	0,47

Таблица 72

Магнитные свойства листовой электротехнической стали

Марка стали	Толщина листов, *мм*	Магнитная индукции, *гс*, при напряженности поля, *а/см*			Удельное электрическое сопротивление, *ом·мм²/м*
		0,002	0,004	0,008	
		не менее			
Э45	0,35	1,2	2,6	7,7	0,55
Э46	0,35	1,5	3,3	8,8	0,55
Э45	0,20	1,3	2,8	7,0	0,55
Э46	0,20	1,6	3,5	8,8	0,55

технической стали, выпускается еще сталь низкоуглеродистая электротехническая тонколистовая.

Кривые намагничивания и зависимость удельных потерь от магнитной индукции для некоторых сталей даны на рис. 81—86.

§ 45. Магнитно-мягкие сплавы (пермаллои)

Пермаллои представляют собой железо-никелевые сплавы с содержанием никеля от 36 до 80%. Для улучшения тех или иных характеристик пермаллоев в их состав вводят еще хром, молибден, медь и др.

Характерными особенностями всех пермаллоев являются их легкая намагничиваемость (рис. 87, 88) в слабых магнитных полях (большие значения $\mu_н$ и $\mu_м$) и повышенные значения удельного электрического сопротивления.

Пермаллои — пластичные сплавы, легко прокатываемые в листы и ленты толщиной до 0,02 *мм* и менее. Благодаря повышенным значениям удельного сопротивления и стабильности магнитных характеристик пермаллои могут применяться до частот 200—500 *кгц*.

Таблица 73

Магнитные свойства листовой электротехнической стали*

Марка стали	Толщина листа, *мм*	Магнитная индукция, *гс*, при напряженности поля, *а/см*										Удельное электрическое сопротивление, *ом·мм²/м*
		0,03	0,05	0,1	0,2	0,5	0,7	1	2	5	10	
		не менее										
Э47	0,35	—	—	350	1400	4800	6100	7700	9200	12 100	13 000	0,55
Э48	0,35	—	—	450	1700	5700	7100	8700	10 200	12 500	13 000	0,55
Э47	0,20	—	—	300	1000	3800	5300	6600	9000	11 800	12 900	0,55
Э48	0,20	—	—	400	1400	4800	6200	7400	9200	12 000	12 900	0,55
Э370	0,50	140	400	2500	8000	12 000	13 000	14500	15 500	16 500	17 000	0,47
Э380	0,50	200	550	4200	10 200	13 800	14 700	15200	15 800	16 700	17 000	0,47
Э370	0,35	120	250	2000	7000	11 000	12 000	13500	14 500	16 000	17 000	0,47
Э380	0,35	180	450	4000	10 000	13 500	14 500	15000	15 500	16 500	17 000	0,47
Э370	0,20	100	200	1400	5000	9000	10 400	11600	14 200	15 700	16 700	0,47
Э380	0,20	180	450	2000	7000	11 000	12 000	13500	14 500	16 000	17 000	0,47

* Из электротехнических текстурованных сталей марок: Э310; Э330; Э330А; Э340; Э350; Э360; Э360К; Э370 и Э380 изготовляют ленту толщиной: 0,05; 0,08; 0,10; 0,15; 0,20; 0,35 и 0,50 *мм* и шириной: 5; 5,6; 6,3; 6,5; 7,1; 8,0; 9; 10; 11,2; 12; 14; 15; 16; 18; 20; 22,4; 25; 28; 32; 35; 40; 45; 50; 56; 64; 71; 80; 90; 100; 112; 125; 140; 160; 180; 200; 224; 240; 250; 280; 300; 320; 355; 400; 450 и 500 *мм*.

Таблица 74

Сортамент низкоуглеродистой тонколистовой стали

Сортамент	Толщина листа, *мм*	Ширина листа, *мм*						
		600	710	750	800	1000	1250	1400
		Длина листа, *мм*						
		3	4	5	6	7	8	9
Листы холоднокатаные	0,2; 0,25; 0,3; 0,4;	1200	1420	1500	1500	—	—	—
	0,5; 0,6	1200 2000	1420	1500	1500	1500	—	—
	0,7	1200 2000	1420	1500	1500	—	—	—
	0,8; 0,9	1200 2000	1420 2000	1500 2000	1500 2000	2000	2000 2500	— —
	1,0; 1,1; 1,2;	1420	1420	1500	1500	2000	2000	2800
	1,4; 1,6;	2000	2000	2000	2000	—	2500	3000
	1,8; 2,0	—	—	—	—	—	—	3500
	2,2; 2,5; 2,8;							
	3,0; 3,2; 3,5; (3,8)	1420	1420	1500	1500	—	—	—
	4,0	2000						
Листы горячекатаные	0,5; 06;	1200						
	0,7;	1420	1420	—	—	—	—	—
	0,8; 0,9	1200						
	1,0; 1,1; 1,2;	1420	1420	1500	1500	—	—	—
	1,4; 1,6; 1,8;	1200	1420	1500	1500	2000		—
	2,0; 2,2	1420					—	
		1420	1420	1500				
	2,5; 2,8;	2000	2000	2000	2000	2000	2500	—
	3,0; 3,2; 3,5;	1420	1420	1500	1500	2000	2500	2800 3000
	4,0	2000	2000	2000	2000			3500 4000

Таблица 75

Основные характеристики низкоуглеродистой тонколистовой стали

Марка стали	Коэрцитивная сила (не более), *э*	Максимальная магнитная проницаемость	Область применения
Э	1,2	3500	Магнитопроводы, реле, полюсные башмаки и др. электромагнитные детали
ЭА	1,0	4000	
ЭАА	0,8	5000	

Пермаллои очень чувствительны к деформациям, которые вызывают ухудшение их первоначальных магнитных характеристик. Восстановление первоначального уровня магнитных характеристик деформированных пермаллойных деталей достигается термической обработкой их по строго разработанному режиму (скорость нагрева до 900—1000° С, выдержка и строго определенные скорости охлаждения).

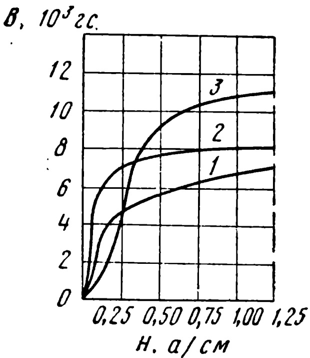


Рис. 87. Кривые намагничивания некоторых пермаллоев

1 — пермаллой хромистый, 2 — пермаллой молибденовый, 3 — пермаллой с 45% никеля

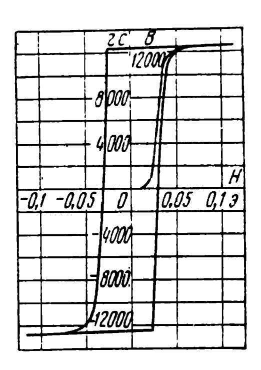


Рис. 88. Кривая намагничивания и петля гистерезиса текстурованного пермаллоя 65НП толщиной 0,1 *мм*

В табл. 76—79 представлены сортамент и основные характеристики отечественных пермаллоев.

§ 46. Магнитно-твердые материалы

Магнитно-твердые материалы обладают большими значениями коэрцитивной силы (H_c) и большой остаточной индукцией (B_r), а следовательно, большими значениями магнитной энергии.

К магнитно-твердым материалам относятся:

1) сплавы, закаливаемые на мартенсит (стали, легированные хромом, вольфрамом или кобальтом); 2) железо-никель-алюминиевые нековкие сплавы дисперсионного твердения (альни, альнико и др.); 3) ковкие сплавы на основе железа, кобальта и ванадия (виккалой) или на основе железа, кобальта, молибдена (комоль); 4) сплавы с очень большой коэрцитивной силой на основе благородных металлов (платина — железо; серебро — марганец — алюминий и др.); 5) металлокерамические нековкие материалы, получаемые прессованием порошкообразных компонентов с последующим обжигом отпрессованных изделий (магнитов); 6) магнитно-твердые ферриты; 7) металлопластические нековкие материалы, получаемые из прессовочных порошков, состоящих из частиц магнитно-твердого материала и связующего вещества (синтетическая смола); 8) магнитоэластиче-

Таблица 76

Состав отечественных пермаллоев

Группа сплавов	Марка сплава	Состав, %								Плотность, $г/см^3$	Удельное электрическое сопротивление, $\frac{ом \cdot мм^2}{м}$
		никель	кремний	хром	молибден	марганец	кобальт	медь	железо		
	45Н	45,0—46,5	0,15—0,30	—	—	0,60—1,10	—	—	Остальное	8,2	0,45
I*	50Н	49—50,5	0,15—0,30	—	—	0,30—0,60	—	—	»	8,2	0,45
	50НП	49—50,5	0,15—0,30	—	—	0,30—0,60	—	—	»	8,2	0,45
II**	65НП	64,5—66,0	0,15—0,30	—	—	0,30—0,60	—	—	»	8,35	0,25
	34НКМП	33,5—35,0	0,15—0,30	—	2,80—3,20	0,30—0,60	28,5—30,0	—	»	8,70	0,50
III***	50НХС	49,5—51,0	1,10—1,40	3,80—4,20	—	0,60—1,10	—	—	»	8,2	0,90
IV****	79НМ	78,5—80,0	0,30—0,50	—	3,8—4,1	0,60—1,10	—	—	»	8,6	0,55
	80НХС	79,0—81,0	1,10—1,50	2,60—3,00	—	0,60—1,10	—	—	»	8,5	0,62
	76НХД	75,0—76,5	0,15—0,30	1,80—2,20	—	0,30—0,60	—	4,80—5,20	»	8,5	0,57

* Сплавы I группы обладают повышенной магнитной проницаемостью и наивысшими значениями индукции насыщения.
** Сплавы II группы обладают прямоугольной петлей гистерезиса.
*** Сплавы III группы обладают повышенной магнитной проницаемостью и повышенной величиной удельного электрического сопротивления.
**** Сплавы IV группы обладают повышенными значениями магнитной проницаемости в слабых магнитных полях.

Таблица 77

Основные размеры пермаллоевых листов и прутков

Наименование изделий	Толщина или диаметр, *мм*	Отклонение по толщине или диаметру, *мм*	Ширина листов, *мм*	Длина листов (не менее), *мм*
Листы горячекатаные	3—5	±0,2	Кратная 100, но не более 600	800
	5—8	±0,4		500
	8—14	±0,5	450—600	500
	14—22	±0,7	450—600	300
Прутки горячекатаные	8—10	±0,5	—	1000
	10—13	±1,0	—	1000
Прутки кованые и горячекатаные	13—35	+2,0	—	500
	35—50	+3,0	—	500
	50—80	+5,0	—	500
	80—100	+6,0	—	250 (не более)

Таблица 78

Основные размеры холоднокатаных пермаллоевых лент

Толщина лент, *мм*	Допускаемые отклонения по толщине, *мм*	Ширина лент, *мм*	Длина лент, не менее, *м*	Толщина лент, *мм*	Допускаемые отклонения по толщине, *мм*	Ширина лент, *мм*	Длина лент, не менее, *м*
0,02—0,03	—0,003	30—100	30	0,45—0,70	—0,05	80—250	6
0,04—0,05	—0,008	30—100	30	0,75—0,95	—0,07	100—250	1
0,06—0,08	—0,01	70—200	30	1,00—1,35	—0,09	100—250	1
0,10—0,15	—0,02	80—250	20	1,40—1,75	—0,11	100—250	1
0,18—0,25	—0,03	80—250	20	1,80—2,30	—0,13	100—250	1
0,28—0,40	—0,04	80—250	10	2,35—2,50	—0,16	100—250	1

Таблица 79

Основные характеристики пермаллоев

Марка	Вид изделия	Толщина или диаметр, *мм*	Магнитные характеристики при 20° С						
			начальная магнитная проницаемость (не менее), $\mu_н$	максимальная магнитная проницаемость (не менее), $\mu_м$	коэрцитивная сила (не более)		индукция насыщения (не менее), *гс*	$B_r/B_м$ при $H=800\ \frac{a}{м}$ (не менее)	температура Кюри (сред. значения), T_K
					а/м	*э*			
45Н	Ленты холоднокатаные	0,02—0,04 0,05—0,08 0,10—0,18 0,20—0,30 0,35—2,50	1700 1800 2000 2500 2800	16000 18000 20000 23000 25000	32 24 24 20 16	0,40 0,30 0,30 0,25 0,20	$1,5\cdot10^4$	—	440
	Листы горячекатаные Прутки	3—22 8—10	2000 2000	18000 18000	24 24	0,30 0,30	$1,5\cdot10^4$ $1,5\cdot10^4$	— —	
50Н	Ленты холоднокатаные	0,02—0,04 0,05—0,08 0,10—0,18 0,20—0,30 0,35—0,50 0,55—1,00 1,10—2,20	1800 2000 2300 2600 3000 3000 2800	20000 20000 25000 30000 35000 30000 25000	24 20 16 12 10 12 13	0,30 0,25 0,20 0,15 0,12 0,15 0,16	$1,5\cdot10^4$	—	500
	Листы горячекатаные Прутки	3—22 8—100	2500 2500	20000 20000	24 24	0,30 0,30	$1,5\cdot10^4$ $1,5\cdot10^4$	—	

50Н-У	Ленты холоднокатаные	0,10—0,18	3000	30 000	14	0,18	1,5·10⁴	—	550
		0,20—0,30	3500	35 000	12	0,15			
		0,35—0,50	4000	45 000	10	0,12			
		0,55—1,00	4000	40 000	10	0,12			
		1,10—2,50	3000	35 000	12	0,15			
50НП	То же	0,02	1000	35 000	20	0,25	1,5·10⁴	0,85	500
		0,05	1000	35 000	18	0,35			
50НП-У	»	0,02	1000	40 000	16	0,20			
		0,05	1000	50 000	11	0,18	1,5·10⁴	0,90	500
65НП	»	0,02—0,04	1500	70 000	6,4	0,08			
		0,05—0,08	2000	100 000	3,2	0,04			
		0,10—0,18	2000	200 000	2,8	0,035	1,3·10⁴	0,90	600
		0,20—0,30	2000	250 000	2,4	0,03			
		0,35—0,50	2000	300 000	2,4	0,03			
34НКМП	»	0,02—0,04	1000	40 000	16	0,20		0,90	
		0,05—0,08	1500	60 000	12	0,15	1,5·10⁴	0,87	600
		0,10—0,18	2000	100 000	8	0,10		0,85	
		0,20—0,50	3000	120 000	6,4	0,08		0,85	
50НХС	»	0,02—0,04	1500	15 000	20	0,25			
		0,05—0,08	2000	20 000	16	0,20			
		0,10—0,18	2500	25 000	13	0,16	1·10⁴	—	360
		0,20—0,30	3000	28 000	10	0,12			
		0,35—0,50	3200	3000	8	0,10			
		0,55—1,00	3000	20 000	10	0,12			
79НМ	»	0,02—0,04	16 000	70 000	4,0	0,05			
		0,05—0,08	16 000	90 000	3,2	0,04			
		0,10—0,18	20 000	120 000	2,4	0,03	0,75·10⁴	—	450
		0,20—0,30	22 000	130 000	1,6	0,02			
		0,,35—1,00	25 000	150 000	1,6	0,02			
		1,10—2,50	22 000	130 000	1,6	0,02			
	Листы горячекатаные	3—22	20 000	80 000	3,2	0,04	0,75·10⁴	—	
	Прутки	8—10	20 000	80 000	3,2	0,04	0,75·10⁴	—	

Таблица 79 (продолжение)

Марка	Вид изделия	Толщина или диаметр, *мм*	Магнитные характеристики при 20°С: начальная магнитная проницаемость (не менее), $\mu_н$	максимальная магнитная проницаемость (не менее), $\mu_м$	коэрцитивная сила (не более), *а/м*	коэрцитивная сила (не более), *э*	индукция насыщения (не менее), *гс*	$B_r/B_м$ при $H=800\frac{a}{м}$ (не менее)	температура Кюри (сред. значения), $T_К$
79НМ-У	Ленты холоднокатаные	0,02—0,04	20 000	100 000	2,4	0,03			
		0,05—0,08	20 000	120 000	1,6	0,02			
		0,10—0,18	22 000	150 000	1,2	0,015	$0{,}73 \cdot 10^4$	—	500
		0,20—0,30	25 000	180 000	1,2	0,015			
		0,35—1,00	30 000	220 000	1,0	0,012			
		1,10—2,50	25 000	180 000	1,2	0,015			
80НХС	То же	0,20—0,04	18 000	70 000	4,0	0,05			
		0,05—0,08	20 000	90 000	3,2	0,04			
		0,10—0,18	22 000	120 000	2,4	0,03			
		0,20—0,30	28 000	130 000	1,5	0,02	$0{,}65 \cdot 10^4$	—	330
		0,35—0,50	35 000	150 000	1,2	0,015			
		0,55—1,00	30 000	170 000	1,0	0,012			
		1,10—2,50	25 000	150 000	1,2	0,015			
	Листы горячекатаные	3—22	20 000	70 000	3,2	0,04	$0{,}65 \cdot 10^4$		
	Прутки	8—100	20 000	70 000	3,2	0,04	$0{,}65 \cdot 10^4$		
76НХД	Ленты холоднокатаные	0,02—0,04	10 000	50 000	5,2	0,065			
		0,05—0,08	13 000	100 000	2,4	0,030			
		0,10—0,18	15 000	120 000	2,0	0,025	$0{,}75 \cdot 10^4$	—	430
		0,20—0,30	18 000	150 000	1,6	0,020			

Таблица 80

Сортовая хромистая, вольфрамовая и кобальтовая сталь для магнитов *

Марка стали	Химический состав, %										Свойства **		
	углерод	хром	вольфрам	кобальт	молибден	марганец	кремний	никель	фосфор	сера	остаточная индукция B_r, *тл*	коэрцитивная сила H_c, *а/м*	объемная плотность энергии, *дж/м*³
								не более			не менее		
ЕХ	0,95—1,10	1,30—1,60	—	—	—	0,20—0,40	0,17—0,40	0,30	0,03	0,02	0,90	4600	4400
ЕХ3	0,90—1,10	2,80—3,60	—	—	—	0,20—0,40	0,17—0,40	0,30	0,03	0,02	0,95	4800	4800
Е7В6	0,68—0,78	0,30—0,50	5,20—6,20	—	—	0,20—0,40	0,17—0,40	0,30	0,03	0,02	1,00	5000	5200
ЕХ5К5	0,90—1,05	5,50—6,50	—	5,50—6,50	—	0,20—0,40	0,17—0,40	0,60	0,03	0,02	0,85	8000	7200
ЕХ9К15М	0,90—1,05	8,0—10,0	—	13,5—16,5	1,20—1,70	0,20—0,40	0,17—0,40	0,60	0,03	0,02	0,80	13 600	11 200

* Стали выпускают в прутках круглого (диаметром от 8 до 70 *мм*) и квадратного сечения (10×10 *мм* и 20×20 *мм*), а также в полосах (толщиной от 6 до 25 *мм* и шириной от 18 до 35 *мм*). Торцевые поверхности прутков и полос хромистой стали окрашивают в зеленый цвет; вольфрамовой стали — в черный цвет; кобальтовой — в бронзовый.

** Плотность сталей находится в пределах: 7,7÷8,0 *г/см*³.

Таблица 81

Химический состав железо-никель-алюминиевых сплавов для постоянных магнитов

Марки сплавов*	Химический состав**,						
	никель	алюминий	кобальт	медь	титан	ниобий	железо
	не более						
ЮНД4 (АН3)	25,0	15,5	—	4,0	0,3	—	Остальное
ЮНД12	30,0	11,0	—	12,0	0,3	—	
ЮНД8	28,0	11,0	—	8,0	0,3	—	
ЮНДК15 (АНКО2)	20,0	9,0	15,0	4,0	0,3	—	
ЮНДК18 (АНКО3)	19,0	10,0	18,0	3,0	0,3	—	
ЮНДК35Т5	15,0	8,0	35,0	4,0	5,0	—	
ЮНДК24Т2	14,0	9,0	24,0	4,0	2,0	—	
ЮНДК24 (АНКО4)	14,0	9,0	24,0	4,0	0,3	—	
ЮНДК24Б	14,0	9,0	24,0	4,0	—	0,8	
ЮНДК25А***	14,0	9,0	25,0	4,0	—	—	
ЮНДК25БА***	15,0	9,0	25,0	4,0	—	0,8	

* В скобках указаны обозначения сплавов по ГОСТу «Магниты литые постоянные для авиационных магнето и приборов».

** Примеси: сера, кремний, углерод и марганец во всех сплавах содержатся в количестве от 0,03 (С) до 0,35% (Mn).

*** Текстурованные сплавы.

Таблица 82

Магнитные характеристики железо-никель-алюминиевых сплавов для постоянных магнитов *

Марка сплавов	Остаточная индукция B_r, *тл*	Коэрцитивная сила, H_c, *а/м*	Объемная плотность энергии, *дж/м*^{3}
ЮНД4	0,50	40 000	7200
ЮНД12	0,50	52 000	8800
ЮНД8	0,60	44 000	10 400
ЮНДК15	0,75	48 000	12 000
ЮНДК18	0,90	55 000	19 400
ЮНДК35Т5	0,80	87 000	28 000
ЮНДК24Т2	1,10	58 000	29 600
ЮНДК24	1,23	44 000	32 000
ЮНДК24Б	1,20	51 000	32 000
ЮНДК25А	1,33	54 000	52 800
ЮНДК25БА	1,28	62 000	52 800

* Из железо-никель-алюминиевых недеформируемых сплавов постоянные магниты могут быть получены только методом литья в формы. Из этих сплавов изготовляют крупногабаритные магниты всех назначений (измерительные приборы, роторы и статоры генераторов, магнитные муфты и др.).

Таблица 83

Состав железо-никель-алюминиевых сплавов

Марки сплавов	Химический состав, %							
	никель	алюминий	кобальт	медь	кремний	углерод	марганец	железо
АН1 (альни 1)	22,0	11,0	—	—	0,15	0,03	0,35	Остальное
АН2 (альни 2)	24,5	13,0	—	3,5	0,15	0,03	0,35	То же
АН3 (альни 3)	23,5	15,5	—	4,0	0,15	0,03	0,35	»
АНК (альниси)	33,0	13,5	—	—	1,0	0,03	0,35	»
АНКО1 (альнико 12)	18,0	10,5	12	6	0,15	0,03	0,35	»
АНКО2 (альнико 15)	20,0	9	15	4	0,15	0,03	0,35	»
АНКО3 (альнико 18)	19,0	10	18	3	0,15	0,03	0,35	»
АНКО4 (магнико)	13,5	9	24	3	0,15	0,03	0,35	»

Таблица 84

Основные характеристики железо-никель-алюминиевых материалов для постоянных магнитов

Марка или наименование сплава	Остаточная магнитная индукция (не менее), *гс*	Коэрцитивная сила (не менее), *э*	Удельная магнитная энергия (не менее), *эрг/см³*	Общая характеристика сплавов и способов обработки
АН1 (альни 1)	7000	250	2800	Литой материал. Закалка при 1200°С в кипящей воде или нормализация при 1200°С (тонкие магниты)
АН2 (альни 2)	6000	430	38 000	Литой материал. Закалка при 120°С в кипящей воде и отпуск при 550°С
АН3 (альни 3)	5000	500	36 000	Литой материал. Нормализация при 1100°С или охлаждение в опоках (тонкие магниты)
АНК (альниси)	4000	750	43 000	Литой материал. Нормализация при 1200°С
АНКО1 (альнико 12)	6800	500	55 000	Литой материал. Нормализация при 1250°С
АНКО2 (альнико 15)	7500	600	60 000	Литой материал. Нормализация при 1300°С
АНКО3 (альнико 18)	9000	650	97 000	Закалка при 1300°С в магнитном поле ($H \geq 1500$ *э*)
АКО4 (магнико)	12 300	500	150 000	Скорость охлаждения 5°С/*сек* до 500°С и отпуск при 600°С
Альни 12—23	6000	450	70 000	Металлокерамический материал

Таблица 84 (продолжение)

Марка или наименование сплава	Остаточная магнитная индукция (не менее), *гс*	Коэрцитивная сила (не менее), *э*	Удельная магнитная энергия (не менее), *эрг/см³*	Общая характеристика сплавов и способов обработки
АН2 (альни 2)	5300	500	36 000	Металлокерамический материал
АНКО2 (альнико 15)	6500	580	5800	То же
АКНО4 (магнико)	11 000	450	115 000	»
АН3 (альни 3)	3300	450	26 000	Металлопластический материал
АНКО2 (альнико 15)	4000	530	60 000	То же

ские материалы (магнитоэласты), состоящие из порошка магнитно-твердого материала и эластичного связующего (каучук, резина).

Остаточная индукция у металлопластических и магнитоэластических магнитов на 20—30% меньше по сравнению с литыми магнитами из тех же магнитно-твердых материалов (альни, альнико и др.).

В табл. 80—85 представлены состав и основные магнитные характеристики широко применяемых магнитно-твердых материалов.

§ 47. Ферриты

Ферриты представляют собой неметаллические магнитные материалы, изготовленные из смеси специально подобранных окислов металлов с окисью железа.

Название феррита определяется названием двухвалентного металла (Ме), окисел которого входит в состав феррита. Так, если в состав феррита входит окись цинка, то феррит называется цинковым ($ZnFe_2O_4$); если в состав феррита входит окись марганца ($MnFe_2O_4$) — марганцевым, или ферритом марганца. Химическая формула простого феррита записывается так: $MeFe_2O_4$.

В технике находят применение сложные (смешанные) ферриты, обладающие более высокими значениями магнитных характеристик и большим удельным сопротивлением по сравнению с простыми ферритами. Химическая формула сложного феррита в общем виде будет выглядеть так:

$$Me_x \cdot M_{(1-x)}Fe_2O_4,$$

где x и $(1-x)$ — весовые количества окислов металлов Ме и М, соответствующие их молекулярным весам.

Примерами сложных ферритов являются никель-цинковый феррит $Ni_xZn_{(1-x)}Fe_2O_4$, марганец-цинковый феррит $Mn_xZn_{(1-x)}Fe_2O_4$ и др.

Все ферриты — вещества поликристаллического строения, получаемые из окислов металлов в результате спекания порошков различных окислов при температурах 1100—1300° С.

Таблица 85

Состав и магнитные характеристики железо-кобальт-молибденовых сплавов (комоль)

Марка сплава	Химический состав, %						Магнитные характеристики		Примечания
	кобальт	молибден	вольфрам	углерод (не более)	кремний (не более)	марганец (не более)	остаточная индукция, *тл*	коэрцитивная сила, *а/м*	
12КМ12	11,5—12,5	11,5—12,5	—	0,05	0,3	0,4	0,80	8	Ковкие (в нагретом состоянии) сплавы, выпускаемые в виде прутков диаметром 15—60 *мм* и в виде листов толщиной 3—5 *мм* и шириной 300—400 *мм*. Магниты изготовляют ковкой, штамповкой и гибкой в нагретом состоянии
12КМ14	11,5—12,5	13,5—14,5	—	0,05	0,3	0,4	0,75	9,6	
12КМ16	11,5—12,5	15,5—16,5	—	0,05	0,3	0,4	0,70	12	
12КМВ12	11,5—12,5	5,5—6,5	11,5—12,5	0,05	0,3	0,4	0,75	9,6	
12КМВ14	11,5—12,5	5,5—6,5	13,5—14,5	0,05	0,3	0,4	0,75	12	

Таблица 86

Основные характеристики низкочастотных магнитно-мягких ферритов

Марка феррита	Начальная магнитная проницаемость	Остаточная индукция B_r		Коэрцитивная сила H_c		Граничная частота, *Мгц*	Удельное электрическое сопротивление, *ом·см*	Рабочая температура (не выше), °C	Примечание
		тл	*гс*	*а/м*	*э*				
6000 НМ	6000^{+800}_{-600}	0,11	1100	8	0,1	0,2	50	110	Марганец-цинковые ферриты применяются в слабых магнитных полях
4000 НМ	4000^{+800}_{-500}	0,13	1300	8	0,1	0,2	50	110	
3000 НМ	3000 ± 500	0,15	1500	12	0,15	0,3	50	110	
2000 НМ	2000^{+500}_{-300}	0,14	1400	16	0,2	0,6	50	180	
2000 НМ1	2000^{+500}_{-300}	0,14	1400	16	0,2	0,6	50	180	
2000 НМ2	2000^{+500}_{-300}	0,14	1400	16	0,2	0,6	50	180	
1500 НМ	1500^{+200}_{-300}	0,14	1400	16	0,2	0,8	52	180	
1500 НМ1	1500^{+200}_{-300}	0,14	1400	16	0,2	0,8	52	180	
1500 НМ2	1500^{+200}_{-300}	0,14	1400	16	0,2	1,0	52	180	
1000 НМ	1000 ± 200	0,11	1100	28	0,35	1,0	50	180	

Таблица 86 (продолжение)

Марка феррита	Начальная магнитная проницаемость	Остаточная индукция B_r		Коэрцитивная сила H_c		Граничная частота, *Мгц*	Удельное электрическое сопротивление, *ом·см*	Рабочая температура (не выше), °C	Примечание
		тл	*гс*	*а/м*	*э*				
2000 НН	2000^{+400}_{-200}	0,12	1200	8	0,1	0,2	10^3	70	Никель-цинковые ферриты применяются в слабых магнитных полях
600 НН	600^{+200}_{-100}	0,14	1400	32	0,4	1,0	10^4	110	
400 НН	400^{+100}_{-50}	0,12	1200	64	0,8	2,0	10^5	120	
200 НН	200^{+50}_{-70}	0,10	1000	120	1,5	3,0	10^5	120	
200 НН1	200 ± 20	0,10	1000	112	1,4	20,0	10^5	300	
100 НН	100^{+30}_{-10}	0,19	1900	50	0,62	40,0	10^5	300	
100 НН1	100^{+20}_{-10}	0,10	1000	123	1,54	45,0	10^5	150	

Плотность ферритов 3—5 $г/см^3$. Чем больше плотность ферритов, тем выше их магнитные характеристики.

Ферриты могут обрабатываться только абразивным инструментом. Они являются магнитными полупроводниками, удельное сопротивление которых находится в пределах 10^2—10^{10} *ом·см*. Это позволяет применять ферриты в магнитных полях высокой частоты, так как потери у них на вихревые токи незначительны. Предельная часто-

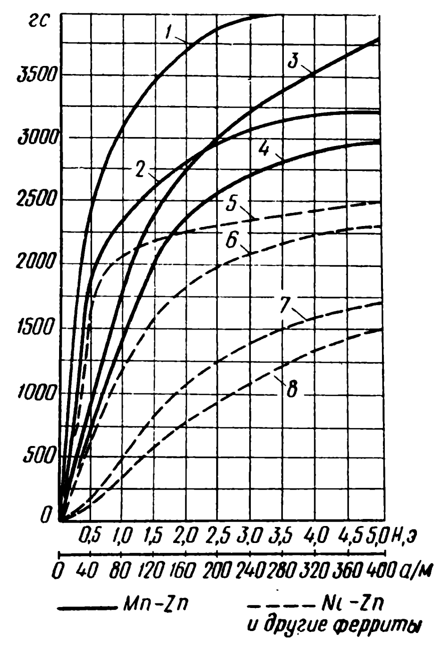


Рис. 89. Кривые намагничивания марганец-цинковых и никель-цинковых ферритов:

1 — 4000 НМ, *2* — 3000 НМ, *3* — 2000 НМ, *4* — 1000 НМ, *5* — 2000 НН, *6* — 600 НН, *7* — 400 НН, *8* — 200 НН

та, при которой происходит резкое увеличение потерь, называется *граничной частотой*. Кроме того, величины начальной и максимальной магнитной проницаемости у высокочастотных ферритов стабильны в широком диапазоне частот.

Некоторые из ферритов обладают резко выраженной прямоугольной гистерезисной петлей, что позволяет использовать их в элементах логической автоматики. Ферриты, как и металлические магнитные материалы, делятся на магнитно-мягкие и магнитно-твердые.

К первым относятся ферриты: никель-цинковые, марганец-цинковые, литий-цинковые, магний-марганцевые и некоторые другие.

У никель-цинковых ферритов удельное электрическое сопротивление составляет $\varrho = 10^3 \div 10^{10}$ *ом·см*; плотность $3{,}8 \div 5{,}0$ $г/см^3$;

Таблица 87

Магнитные характеристики магнитно-твердых ферритов

Марка феррита	Основа феррита	Структура феррита	Магнитные характеристики		
			коэрцитивная сила, *ка/м*	остаточная магнитная индукция, *тл*	объемная плотность энергии, $\frac{дж}{м^3}$
0,7 БИ	Ферриты бария	Изотропная	112—128	0,18—0,21	2800—3200
1БИ		»	128—144	0,19—0,22	3200—4400
2БА		Анизотропная	184—230	0,30—0,35	8000—11 600
2БА-1		»	195—239	0,28—0,33	7150—9950
3БА		»	128—183	0,36—0,40	12 000—14 000
3БА-1		»	264—270	0,37—0,42	11 500—12 250
1,5 ФК	Ферриты кобальта	»	127—151	0,24—0,27	5500—6750
2 ФК		»	127—160	0,28—0,32	7150—8750
3СА	Ферриты стронция	»	240—270	0,34—0,38	10 350—13 100
3,5 СА		»	160—230	0,38—0,41	13 900—15 900

коэффициент линейного расширения 10^{-5} 1/°С; теплоемкость $\approx$ 0,17 *кал/г·град*; теплопроводность 4,17 *вт/м·град.*

У марганец-цинковых ферритов $\varrho = 10^2 \div 10^3$ *ом·см*; плотность $4{,}4 \div 4{,}7$ *г/см*^{3}, коэффициент линейного расширения 10^{-5} 1/° С; теплоемкость $\approx$ 0,17 *кал/г·град*; теплопроводность 4,19 *вт/м·град.*

К магнитно-твердым ферритам относятся феррит бария $BaO \cdot 6Fe_2O_3$, феррит кобальта $CoO \cdot Fe_2O_3$ и феррит стронция $SrO \cdot 6Fe_2O_3$.

У магнитно-твердых ферритов плотность составляет 3,3—5,0 *г/см*^{3}, удельное электрическое сопротивление $\varrho = 10^3$ *ом·см* (ферриты кобальта) до 10^5 *ом·см* (ферриты бария, ферриты стронция) и до 10^8 *ом·см* (изотропные ферриты бария). Температура Кюри у ферритов 450—550° С.

В табл. 86—87 приводятся основные характеристики широко применяемых ферритов, а на рис. 89 представлены кривые намагничивания ферритов.

ГЛАВА V

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

§ 48. Классификация и общие свойства полупроводников

К полупроводникам относится большое количество материалов, отличающихся друг от друга внутренней структурой, химическим составом и электрическими свойствами. Согласно химическому составу, кристаллические полупроводниковые материалы делят на четыре группы:

1) материалы, состоящие из атомов одного элемента: германий (Ge), кремний (Si), селен (Se), фосфор (P), бор (B), индий (In), галлий (Ga) и некоторые др.;

2) материалы, состоящие из окислов металлов: закись меди (Cu_2O), окись цинка (ZnO), окись кадмия (CdO), двуокись титана (TiO_2) и некоторые др.;

3) материалы на основе соединений атомов третьей и пятой групп системы элементов Менделеева, обозначаемые общей формулой $A^{III}B^{V}$ и называемые антимонидами. К этой группе относятся соединения сурьмы (Sb) с индием (антимонид индия InSb), с галлием (антимонид галлия GaSb) и др., соединения атомов второй и шестой групп $A^{II}B^{VI}$ (CdS; ZnSe и др.), а также соединения атомов четвертой группы $A^{VI}B^{IV}$ (SiC — карбид кремния);

4) полупроводниковые материалы органического происхождения, например, полициклические ароматические соединения: антрацен, нафталин и др.

Согласно кристаллической структуре, полупроводниковые материалы делят на две группы:

монокристаллические полупроводники, получаемые в виде больших одиночных кристаллов (монокристаллы). К ним относятся германий, кремний, из которых вырезают (по определенным направлениям) пластинки для выпрямителей и других полупроводниковых изделий (приборов);

поликристаллические полупроводники, состоящие из множества кристалликов, спаянных друг с другом. Поликристаллическими полупроводниками являются: селен, карбид кремния и др.

По величине удельного объемного сопротивления полупроводниковые материалы занимают промежуточное положение между проводниками и диэлектриками. Удельное сопротивление полупроводников колеблется от 10^{-4} до 10^{10} *ом·см.*

Некоторые полупроводники (карбид кремния и др.) резко уменьшают электрическое сопротивление с ростом приложенного к ним напряжения. Это используется в вентильных разрядниках для защиты

линий электропередачи. Другие полупроводники (селен, теллур и др.) резко уменьшают свое сопротивление под действием световых излучений (фотопроводимость). Это используется в фотоэлементах и фоторезисторах.

Полупроводники на границе с металлами или с другими полупроводниками способны образовывать (при данной полуволне переменного напряжения) переходной слой с большим сопротивлением (запирающий слой). При другой полуволне напряжения электрическое сопротивление переходного слоя резко уменьшается и он начинает пропускать ток. На этом свойстве основано устройство полупроводниковых выпрямителей и усилителей.

Общим свойством для полупроводников является то, что они обладают электронной и дырочной проводимостью. Под действием приложенного к полупроводнику напряжения свободные электроны перемещаются в одном направлении, а образовавшиеся в результате освобождения электронов дырки (в атомах) движутся в противоположном направлении. Дырка рассматривается как положительно заряженная частица, заряд которой равен заряду электрона. Движение электронов и дырок, а следовательно, и величина тока в полупроводниках, определяются значениями их подвижностей (μ).

Подвижность носителей тока есть отношение скорости направленного движения электрона или дырки к величине напряженности электрического поля в полупроводнике, равной 1 *в/см*, т. е.

$$\mu_n = \frac{v_n}{E} \text{ см}^2/\text{в}\cdot\text{сек} \text{ — подвижность электрона,}$$

$$\mu_p = \frac{v_p}{E} \text{ см}^2/\text{в}\cdot\text{сек} \text{ — подвижность дырки,}$$

где v_n — средняя скорость направленного движения электрона, *см/сек*;
v_p — средняя скорость направленного движения дырки, *см/сек*;
E — напряженность электрического поля, *в/см*.

Удельная проводимость полупроводникового материала (полупроводника) определяется выражением

$$\sigma = e\,(N_n\mu_n + N_p\mu_p), \qquad (1)$$

где N_n — количество свободных электронов в 1 *см*³ полупроводника (концентрация электронов);
N_p — количество свободных дырок в 1 *см*³ полупроводника (концентрация дырок);
e — заряд электрона и дырки, равный $1{,}6\cdot10^{-19}$ *к*.

Чем чище полупроводниковый материал, тем больше подвижность электронов и дырок и тем выше проводимость полупроводников. В тщательно очищенных (чистых) полупроводниках имеет место собственная электропроводность. При этом концентрации носителей тока равны друг другу, т. е. $N_n = N_p = N$, и выражение (1) принимает вид

$$\sigma = Ne\,(\mu_n + \mu_p). \qquad (2)$$

Собственная электропроводность относительно невелика вследствие незначительного количества свободных носителей тока — электронов и дырок. В технических полупроводниковых материалах повышение проводимости достигают введением в тщательно очищен-

ные полупроводники (германий, кремний и др.) легирующих примесей.

Различают примеси донорные (доноры), состоящие из пятивалентных атомов (сурьма, фосфор и др.) и акцепторные (акцепторы), состоящие из трехвалентных атомов (индий, бор, алюминий и др.).

С введением примесей все полупроводниковые материалы свою проводимость увеличивают, причем с введением в полупроводник донорной примеси в нем устанавливается только электронная (n-типа) примесная электропроводность. С введением же в полупроводник акцепторной примеси в нем устанавливается дырочная (p-типа) примесная электропроводность.

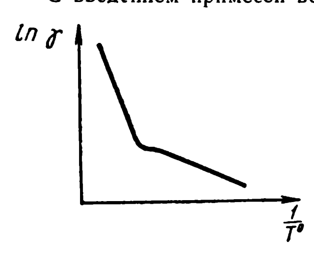


Рис. 90. Зависимость проводимости полупроводника от температуры

При комнатной температуре в полупроводниках наблюдается преимущественно примесная электропроводность (электронная или дырочная). С повышением температуры общая проводимость σ полупроводников возрастает. В области высоких температур преобладает собственная электропроводность, при которой имеют место электронная и дырочная электропроводности.

Типичная кривая, показывающая зависимость удельной проводимости σ полупроводников от температуры, приведена на рис. 90. С понижением температуры полупроводниковых материалов их проводимость уменьшается.

В табл. 88 даны основные характеристики широко применяемых полупроводниковых материалов. Эти данные относятся к чистым материалам. Для производства полупроводниковых приборов (выпрямители и др.) применяют полупроводниковые материалы, легированные донорными или акцепторными примесями.

Легированные сорта германия обладают удельным сопротивлением $\rho = 0{,}03 \div 45$ *ом·см*, а у легированных сортов кремния $\rho = 0{,}1 \div 20$ *ом·см*.

§ 49. Вольт-амперные характеристики полупроводников

При повышении напряжения, приложенного к полупроводнику, величина тока в нем возрастает значительно быстрее напряжения (рис. 91), т. е. наблюдается нелинейная зависимость между током и напряжением. Если при перемене напряжения на обратное ($-U$) изменение тока в полупроводнике имеет такой же характер, что и в обратном направлении, то такой полупроводник обладает симметричной вольт-амперной характеристикой. В полупроводниковых выпрямителях подбором полупроводников с разного типа электропроводностью (p-типа и n-типа) добиваются несимметричной вольт-амперной характеристики (рис. 92). В результате этого при одной полуволне переменного напряжения полупроводниковый выпрямитель будет пропускать ток. Это ток, протекающий в прямом направлении $I_{пр}$, который быстро возрастает с повышением приложенного напряжения. При воздействии же второй полуволны напряжения система

Таблица 88

Свойства основных полупроводниковых материалов

Материал	Плотность при 20 °С, г/см³	Удельное сопротивление при 20 °С, ом·см	Диэлектрическая проницаемость	Подвижность, см²/сек·в		Температура плавления, °С	Ширина запрещенной зоны, эв	Общая характеристика
				электронов	дырок			
Германий	5,320	46÷68	15,7—16	3900	1900	958,5	0,78	Электронные полупроводники. Применяются для изготовления полупроводниковых приборов — диодов и триодов
Кремний	2,328	$(2\div3)10^5$	11,7—12	1450	500	1420	1,11	
Селен (кристаллический)*	4,8	$(0,8\div5)10^5$	6,1—6,3	—	0,8	217	1,2	Дырочный полупроводник. Применяется в выпрямителях и фоторезисторах
Закись меди	5,8	10^3—10^6	12	—	100	1230	1,5	Дырочный полупроводник. Применяется в выпрямителях
Карбид кремния	3,2	10^4—10^7	6,5—7,5	60—100	8—10	1600	3,5	Основа нелинейных резисторов (тирит, вилит) для вентильных разрядников. Выпрямители с большой рабочей температурой

* Селен аморфного строения (черный селен) является диэлектриком.

двух полупроводников (в плоскостном выпрямителе) не пропускает тока в обратном направлении $I_{обр}$. Причиной этого является большое сопротивление переходного слоя (p — n-перехода), возникающего между полупроводником p-типа и полупроводником n-типа в выпрямителе. Очень незначительная величина тока $I_{обр}$ все же протекает через p — n-переход в выпрямителе, вследствие наличия в полупроводниках неосновных носителей тока (электронов — в полупроводнике p-типа и дырок — в полупроводнике n-типа).

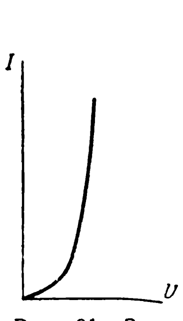


Рис. 91. Зависимость тока от напряжения (вольт-амперная характеристика полупроводника)

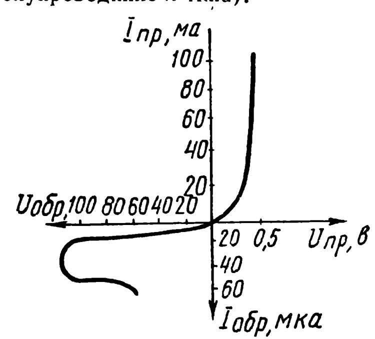


Рис. 92. Несимметричная вольт-амперная характеристика полупроводникового выпрямителя (германиевый плоскостной диод)

С дальнейшим повышением приложенного напряжения обратный ток $I_{обр}$ начнет медленно возрастать и может достигнуть значений, при которых наступит пробой запорного слоя, т. е. p — n-перехода.

Чем больше отношение величины прямого тока $I'^{пр}$ к величине обратного тока $I'^{обр}$, (измеренных при одинаковых значениях напряжения), тем лучше свойства выпрямителя. Это оценивается величиной коэффициента выпрямления, представляющего собой отношение прямого тока $I_{пр}$ к обратному $I_{обр}$ при одной и той же величине напряжения:

$$a = \frac{I'_{пр}}{I_{обр}}.$$

§ 50. Селеновые выпрямители

Селеновые выпрямители (рис. 93) собирают из отдельных селеновых элементов, представляющих собой алюминиевые пластины круглой или квадратной формы. Каждая из пластин покрыта тонким слоем кристаллического селена (50—60 *мк*), обладающего электропроводностью p-типа. На поверхность селена наносится тонкий слой серы, а на слой серы наносят распылением катодный сплав, состоя-

щий из олова и кадмия. В результате длительного приложения постоянного напряжения в запирающем направлении, т. е. от катодного слоя к селену, кадмий (Cd) диффундирует в слой серы (S), образуя с ней тонкий слой ($\approx 10^{-5}$ *см*) сульфид кадмия (CdS). Он является электронным полупроводником, а слой кристаллического селена — дырочным полупроводником, т. е. образуется *p* — *n*-переход. У таких выпрямительных элементов (серии А) алюминиевая пластина является анодом, а слой из сплава олова с кадмием — катодом. У выпрямительных элементов серии Г запирающий слой расположен между алюминиевой пластиной и слоем селена, т. е. он снаружи закрыт.

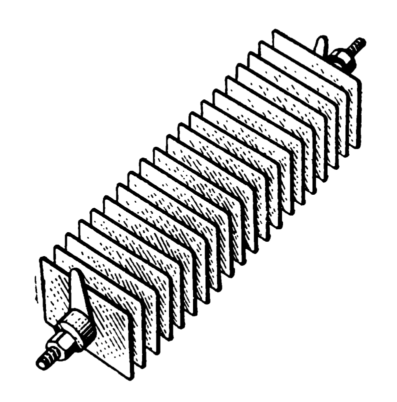


Рис. 93. Селеновый выпрямитель (столбик) открытой конструкции

В выпрямительных элементах серии Г анодом является алюминиевая фольга, находящаяся в контакте с слоем кристаллического селена, катодом же служит алюминиевая пластина.

Рабочие напряжения селеновых выпрямителей серии Г значительно выше по сравнению с выпрямителями серии А. Для выпрямителей обеих серий номинальная плотность тока равна 25 *ма/см*². Выпрямители серии Я допускают плотность тока 50 *а/см*².

У большинства конструкций элементов на большие токи в центре каждого из них имеется круглое отверстие для сборки элементов (на изолированных металлических шпильках) в выпрямительные столбики (см. рис. 93). Элементы, не имеющие центральных отверстий, собирают в плоских металлических коробках или в трубках из пластмассы. Для лучшего охлаждения выпрямительных столбиков между селеновыми элементами оставляется зазор. Различают выпрямительные столбики по форме и размерам их селеновых элементов, а также по схемам выпрямления (схема с выведенной средней точкой, трехфазный мост и др.). Полярность электродов обозначается (на выпрямительных столбиках) цветными полосками: красный цвет +; синий цвет —; желтый цвет ~. Выпрямительные столбики и их элементы покрывают влагостойкими эмалями. Сопротивление изоляции выпрямительных столбиков относительно стяжной металлической шпильки или металлического корпуса измеряется после пребывания выпрямителей в течение двух суток в атмосфере 98% относительной влажности при 20±5° С. Это сопротивление должно быть не менее 2 *Мом*. Некоторые типы выпрямителей предназначены для работы в трансформаторном масле. Селеновые выпрямители могут использоваться для выпрямления переменного тока частотой до 1000 *гц*, что обусловлено значительной емкостью выпрямительных элементов (0,02 *мкф/см*²). Коэффициент полезного действия селеновых выпрямителей находится в пределах 70—80%. Он мало изменяется с изменением нагрузки.

В зависимости от схемы соединения элементов в селеновом выпрямителе он имеет условное буквенное обозначение (табл. 89).

Таблица 89

Схемы соединения элементов в селеновых выпрямителях

Вид выпрямителя	Схема выпрямления	Принципиальная схема соединения элементов в выпрямителях	Обозначение вида выпрямителя
Единичный вентиль	Однофазная однополупериодная		Е
Выпрямитель со средней точкой	Однофазная двухполупериодная		С
Двуплечий выпрямитель	Однофазная однополупериодная с удвоением напряжения		Д
Однофазный мост	Однофазная мостовая		М
Разомкнутый однофазный мост	То же		Х
Для включения в трехфазную схему	Однополупериодная		Ж
Трехфазный мост	Трехфазная мостовая		Т

Это буквенное обозначение входит в полное обозначение типа выпрямителя.

По величине допустимого напряжения селеновые выпрямители разделяются на классы (табл. 90).

В обозначения типов выпрямителей входят цифры и буквы, например 40ГД24А. На первом месте стоят цифры, указывающие размер элементов выпрямителя (40×40 *мм*). Следующая за цифрами буква обозначает класс элемента (в данном случае Г) согласно допустимой для него величине переменного напряжения, например для класса Г-25 в. Следующая буква указывает вид схемы, согласно которой собран выпрямитель (в данном случае Д — двуплечий мост). Стоящая далее цифра указывает общее количество элементов в выпрямителе (в данном случае 24, т. е. по 12 элементов в каждом плече). Буква, стоящая на последнем месте, указывает серию выпрямителя (в данном случае серия А).

В зависимости от эксплуатационных особенностей селеновые выпрямители выпускаются следующих серий:

А — выпрямители, допускающие работу при температурах от —60° С до 75° С;

Г — выпрямители, допускающие работу при температурах от —60° С до 80° С;

Е — выпрямители, допускающие работу при температурах от —60° С до 125° С;

Я — выпрямители, допускающие работу при удвоенной плотности тока.

В табл. 91 приведены размеры одиночных селеновых элементов и средние значения прямого тока на элемент.

В обозначениях типов выпрямителей на шестом месте (100ГД20А5) стоит цифра, указывающая количество параллельных ветвей в выпрямителе (от 2 до 6). Если в выпрямителе параллельных ветвей нет, то эта цифра отсутствует (40ГД24А).

На седьмом (последнем) месте в обозначениях селеновых выпрямителей стоит буква, указывающая на особенности исполнения выпрямителя:

Н — выпрямители неокрашенные, предназначенные для работы в трансформаторном масле (40ГД24А—Н);

Т — выпрямители, защищенные специальной окраской для работы в тропическом климате;

П — выпрямители, рассчитанные на выпрямленный ток при сокращенном сроке службы.

Выпрямители в нормальном открытом исполнении, предназначенные для работы в воздушной среде, не имеют седьмого знака в обозначении типа выпрямителя. Выпрямители закрытой конструкции, когда выпрямительные элементы помещены в корпусах, имеют обозначения: АВС, ТВС, ФВС и др.

Допустимая относительная влажность окружающего воздуха при 20 ±5° С не более 80%.

Срок службы выпрямителей: 15 000 *ч* — 25 000 *ч* (классы В, Г, Д, Е) и 5000—6000 *ч* (для классов И, К). Нормальное расположение выпрямителей — горизонтальное. Гарантийный срок хранения выпрямителей — 5 лет. При работе селеновые выпрямители способны выдерживать значительные перегрузки (двойная перегрузка током допускается в течение 5 *мин*).

В табл. 92 и 93 приведены электрические характеристики широко применяемых селеновых выпрямителей на токи от 0,6 *а* и выше.

Таблица 90

Классы селеновых выпрямителей

Буквенное обозначение класса вентиля	Допустимая величина переменного напряжения на один элемент	В каких сериях выпускаются
В	20	А, Я
Г	25	А, Я, Ф
Д	30	А, Г
Е	35	Г
И	40	Г
К	45	Г

Таблица 91

Размеры селеновых выпрямительных элементов и средние значения прямого тока на один элемент

Размер элемента, *мм*	Среднее значение прямого тока на элемент, *а*			
	Серия А	Серия Г	Серия Я	Серия Ф
Ф3	—	—	—	0,00006
Ф5	0,0012	—	—	0,0012
Ф7, 2	0,006	—	—	0,006
Ф12, 5	—	0,025	—	—
12×12	0,04	—	—	—
15×15	0,06	—	—	—
Ф18	—	0,04	—	—
22×22	0,075	—	0,15	—
Ф25	—	0,075	—	—
30×30	—	0,075	—	—
40×40	0,3	0,3	0,6	—
60×60	0,6	—	—	—
75×75	1,2	1,2	2,4	—
90×90	1,5	—	—	—
100×100	4	—	8	—
100×300	6	—	12	—
100×400	8	—	16	—

§ 51. Германиевые и кремниевые выпрямители

Германиевые и кремниевые выпрямители (вентили) обладают большими коэффициентами полезного действия по сравнению с селеновыми выпрямителями.

Согласно конструктивному признаку различают выпрямители (диоды) точечные и плоскостные.

У точечных диодов $p-n$-переход образуется в очень малой области соприкосновения острия металлической проволочки (иглы) с пластиной германия или кремния. Вследствие очень малой емкости точечных диодов они находят главное применение в технике высоких частот. У плоскостных диодов $p-n$-переход образуется на большей площади по сравнению с точечными диодами — на границе раздела двух полупроводников с различного типа проводимостями. Наиболее распространенными плоскостными диодами являются сплавные диоды, у которых $p-n$-переход образуется в результате сплавления акцепторной примеси (алюминий, индий и др.) с основным полупроводником (германий, кремний).

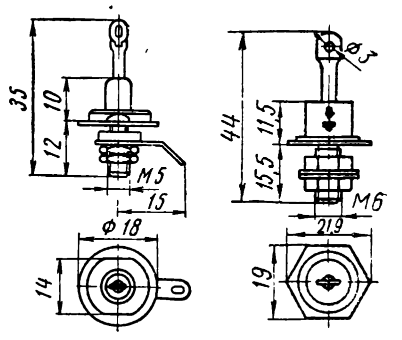


Рис. 94. Плоскостные кремниевые диоды Д202—Д205, Д302—Д305

Рис. 95. Плоскостные кремниевые диоды Д242—Д247

Плоскостные диоды обладают значительно большей емкостью по сравнению с точечными, что ограничивает их применение на высоких частотах, но они могут пропускать значительно большие токи. Поэтому в электротехнике наибольшее применение получили плоскостные германиевые и кремниевые выпрямители (рис. 94, 95). Срок службы этих диодов не менее 5000 *ч*. Германиевые выпрямители могут использоваться при температурах не выше 65—80° С, а кремниевые — не выше 140—200° С. Коэффициент полезного действия германиевых выпрямителей 95—98%, а кремниевых 98—99%.

Все полупроводниковые диоды должны включаться в схему в соответствии с их полярностью, указанной на корпусе диода.

Для увеличения срока службы диодов их не следует использовать в предельных режимах работы (крайние температурные пределы, наибольший выпрямительный ток и др.). При установке диодов в электрических приборах и аппаратах их следует располагать так, чтобы обеспечить диоду наилучшее охлаждение. При толщине металлического основания в 1 *мм* площадь охлаждения, приходящаяся на один диод, не должна быть меньше 40 *см*^{2}. Можно применять дополнительные теплоотводы в виде медных или алюминиевых пластин. Для охлаждения мощных диодов они снабжаются воздушными радиаторами (рис. 96, *а*, *б*, *в*) или устройством с водяным или масляным охлаждением. При монтаже и пайке диодов нельзя допускать их перегрева. С этой целью диоды малой мощности паяют припоем ПОС-50 (температура плавления 223° С), располагая место пайки от корпуса диода на расстоянии не менее 10 *мм*. Мощность

Таблица 92

Основные характеристики селеновых выпрямителей серии А*, классов В и Г

Тип выпрямителя**	Подводимое переменное напряжение, *в*	Выпрямленное напряжение, *в*	Среднее значение выпрямленного тока, *а*	Вес (не более), *кг*	Размер выпрямительного элемента, *мм*	Соединение элементов в выпрямителе
60ВМ4А	20	14	1,2	0,16	60×60	Однофазный мост
60ВМ8А	40	29		0,25		
60ВМ12А	60	43		0,34		
60ВМ16А	80	58		0,43		
60ВМ20А	100	72		0,52		
60ВМ24А	120	87		0,60		
60ВМ32А	160	115		0,78		
75ВМ4А—75ВМ28А	От 20 до 140	От 14 до 100	2,4	От 0,20 до 0,85	75×75	То же
90ВМ4А—90ВМ24А	От 20 до 120	От 14 до 87	3	От 0,23 до 0,97	90×90	»
100ВМ4А—100ВМ24А	От 20 до 120	От 14 до 87	4	От 0,27 до 1,16	100×100	»
120ВМ4А—120ВМ24А	От 20 до 120	От 14 до 87	8	От 0,6 до 3,1	120×120	»
130ВМ4А—130ВМ24А	От 20 до 120	От 14 до 87	12	От 0,95 до 4,7	130×130	»
140ВМ4А—140ВМ24А	От 20 до 120	От 14 до 87	16	От 1,4 до 2,7	140×140	»
60ВД2А	40	14	0,6	0,11	60×60	Двуплечий выпрямитель
60ВД4А	80	29		0,15		
60ВД6А	120	43		0,20		
60ВД8А	160	58		0,24		
60ВД10А	200	72		0,28		
60ВД12А	240	87		0,33		
60ВД16А	320	115	0,6	0,41	60×60	
60ВД20А	400	145		0,50		
60ВД24А	480	175		0,67		
60ВД32А	640	230		0,75		
75ВД2А—75ВД28А	От 40 до 560	От 14 до 205	1,2	От 0,13 до 0,83	75×75	
90ВД2А—90ВД24А	От 40 до 480	От 14 до 175	1,5	От 0,14 до 0,93	90×90	То же
100ВД2А—100ВД24А	От 40 до 480	От 14 до 175	2	От 0,16 до 1,11	100×100	»
120ВД2А—120ВД24А	От 40 до 480	От 14 до 175	4	От 0,35 до 3,05	100×200	»
130ВД2А—130ВД24А	От 40 до 480	От 14 до 175	6	От 0,55 до 4,60	100×300	»
140ВД2А—140ВД24А	От 40 до 480	От 14 до 175	8	От 0,8 до 6,5	100×400	»

Таблица 92 (продолжение)

Тип выпрямителя**	Подводимое переменное напряжение, *в*	Выпрямленное напряжение, *в*	Среднее значение выпрямленного тока, *а*	Вес (не более), *кг*	Размер выпрямительного элемента, *мм*	Соединение элементов в выпрямителе
60ВС2А	20	7	1,2	0,11	60×60	Выпрямитель со средней точкой
75ВС2А	20	7	2,4	0,13	75×75	
90ВС2А	20	7	3,0	0,14	90×90	
100ВС2А	20	7	4,0	0,16	100×100	
75ВТ6А	17,5	18		0,25		Трехфазный мост
75ВТ12А	35	37	3,6	0,41	75×75	
75ВТ18А	52	55		0,58		
75ВТ24А	70	74		0,75		
90ВТ6А—90ВТ24А	От 17,5 до 70	От 18 до 74	4,5	От 0,32 до 1,0	90×90	То же
100ВТ6А—100ВТ24А	От 17,5 до 70	От 18 до 74	6	От 0,39 до 1,2	100×100	»
120ВТ6А—120ВТ24А	От 17,5 до 70	От 18 до 74	12	От 0,9 до 3,2	100×200	»
130ВТ6А—130ВТ24А	От 17,5 до 70	От 18 до 74	18	От 1,3 до 4,9	100×300	»
140ВТ6А—140ВТ24А	От 17,5 до 70	От 18 до 74	24	От 2,0 до 6,7	100×400	»
60ГМ4А	25	18		0,16		
60ГМ8А	50	37		0,25		
60ГМ12А	75	55		0,34		Однофазный мост
60ГМ16А	100	74	1,2	0,43	60×60	
60ГМ20А	125	92		0,52		
60ГМ24А	150	110		0,60		
60ГМ32А	200	150		0,78		
75ГМ4А—75ГМ28А	От 25 до 175	От 18 до 130	2,4	От 0,2 до 0,85	75×75	То же
90ГМ4А—90ГМ24А	От 25 до 150	От 18 до 110	3,0	От 0,23 до 0,97	90×90	»
100ГМ4А—100ГМ24А	От 25 до 150	От 18 до 110	4,0	От 0,27 до 1,16	100×100	»
120ГМ4А—120ГМ24А	От 25 до 150	От 18 до 110	8	От 0,6 до 3,1	100×200	»
130ГМ4А—130ГМ24А	От 25 до 150	От 18 до 110	12	От 0,95 до 4,70	100×300	»
140ГМ4А—140ГМ24А	От 25 до 150	От 18 до 110	16	От 1,4 до 6,6	100×400	»
60ГД2А	50	19		0,11		
60ГД4А	100	38		0,15		
60ГД6А	150	57	0,6	0,20	60×60	Двуплечий
60ГД8А	200	76		0,24		
60ГД10А	250	95		0,28		
60ГД12А	300	115		0,33		

Тип выпрямителя**	Подводимое переменное напряжение, *в*	Выпрямленное напряжение, *в*	Среднее значение выпрямленного тока, *а*	Вес (не более), *кг*	Размер выпрямительного элемента, *мм*	Соединение элементов в выпрямителе
60ГД16А	400	150	0,6	0,41	60×60	выпрямитель
60ГД20А	500	190		0,50		
60ГД24А	600	230		0,58		
60ГД28А	700	265		0,67		
60ГД32А	800	305		0,75		
75ГД2А—75ГД28А	От 50 до 700	От 19 до 265	1,2	От 0,13 до 0,83	75×75	То же
90ГД2А—90ГД24А	От 50 до 600	От 19 до 230	1,5	От 0,14 до 0,93	90×90	»
100ГД2А—100ГД24А	От 50 до 600	От 19 до 230	2,0	От 0,16 до 1,11	100×100	»
120ГД2А—120ГД24А	От 50 до 600	От 19 до 230	4,0	От 0,35 до 3,05	100×200	»
130ГД2А—130ГД24А	От 50 до 600	От 19 до 230	6	От 0,55 до 4,6	100×300	»
140ГД2А—140ГД24А	От 50 до 600	От 19 до 230	8	От 0,8 до 6,5	100×400	»
60ГС2А	25	9	1,2	0,11	60×60	Выпрямитель со средней точкой
75ГС2А	25	9	2,4	0,13	75×75	
90ГС2А	25	9	3,0	0,14	90×90	
100ГС2А	25	9	4,0	0,16	100×100	
75ГТ6А	22	24	3,6	0,25	75×75	Трехфазный мост
75ГТ12А	44	48		0,41		
75ГТ18А	66	72		0,58		
75ГТ24А	83	96		0,75		
90ГТ6А—90ГТ24А	От 22 до 88	От 24 до 96	4,5	От 0,32 до 1,00	90×90	То же
100ГТ6А—100ГТ24А	От 22 до 88	От 24 до 96	6	От 0,39 до 1,2	100×100	»
120ГТ6А—120ГТ24А	От 22 до 88	От 24 до 96	12	От 0,9 до 3,2	100×200	»
130ГТ6А—130ГТ24А	От 22 до 88	От 24 до 96	18	От 1,3 до 4,9	100×300	»
140ГТ6А—140ГТ24А	От 22 до 88	От 24 до 96	21	От 2,0 до 6,7	100×400	»

* Здесь приведены характеристики выпрямителей открытого типа классов В и Г, у которых наибольший срок службы (В — не менее 20 000 *ч*, Г — не менее 25 000 *ч*). Выпрямители классов Д и Е, обеспечивающие такую же продолжительность работы, выпускаются в серии Г (см. табл. 89).

** Здесь приведены выпрямители, состоящие из элементов размером 60×60 и более на выпрямленные токи от 0,6 *а* и выше. Выпрямители серии А выпускаются с элементами размером 15×15 *мм*; 22×22 *мм*; 30×30 *мм*; 40×40 *мм* на токи (выпрямленные): 0,04 *а*; 0,075 *а*; 0,15 *а*; 0,3 *а* и 0,6 *а*.

Таблица 93

Основные характеристики селеновых выпрямителей серии Г* классов Д и Е

Тип выпрямителя**	Подводимое переменное напряжение, *в*	Выпрямленное напряжение, *в*	Среднее значение выпрямленного тока, *а*	Вес (не более), *кг*	Размер выпрямительного элемента, *мм*	Соединение элементов в выпрямителе
75ДМ4Г	30	22	2,4	0,2	75×75	Однофазный мост
75ДМ8Г	60	45		0,29		
75ДМ12Г	90	67		0,4		
75ДМ16Г	120	90		0,51		
75ДМ20Г	150	110		0,62		
75ДМ24Г	180	135		0,74		
75ДМ28Г	210	155		0,85		
100ДМ4Г—100ДМ24Г	От 30 до 180	От 22 до 135	4,0	От 0,27 до 1,16	100×100	То же
75ДД2Г	60	23	1,2	0,13	75×75	Двуплечий выпрямитель
75ДД4Г	120	46		0,18		
75ДД6Г	180	69		0,22		
75ДД8Г	240	92		0,27		
75ДД10Г	300	115		0,32		
75ДД12Г	360	135		0,38		
75ДД14Г	420	160		0,44		
75ДД16Г	480	185		0,49		
75ДД18Г	540	205		0,55		
75ДД20Г	600	230		0,60		
75ДД22Г	660	250		0,66		
75ДД24Г	720	275		0,72		
75ДД26Г	780	300		0,78		
75ДД28Г	840	320		0,83		
100ДД2Г—100ДД24Г	От 60 до 720	От 23 до 275	2,0	От 0,16 до 1,4	100×100	То же
75ДС2Г	30	11	2,4	0,13	75×75	Выпрямитель со средней точкой
100ДС2Г	30	11	4,0	0,16	100×100	
75ДТ6Г	26	29	3,6	0,25	75×75	Трехфазный мост
75ДТ12Г	52	58		0,11		
75ДТ18Г	78	87		0,58		
75ДТ24Г	104	115		0,75		
100ДТ6Г—100ДТ24Г	От 26 до 104	От 29 до 115	6	От 0,39 до 1,2	100×100	То же

Таблица 93 (продолжение)

Тип выпрямителя**	Подводимое переменное напряжение, *в*	Выпрямленное напряжение, *в*	Среднее значение выпрямленного тока, *а*	Вес (не более), *кг*	Размер выпрямительного элемента, *мм*	Соединение элементов в выпрямителе
75ЕМ4Г	35	26	2,4	0,20	75×75	Однофазный мост
75ЕМ8Г	70	53		0,29		
75ЕМ12Г	105	79		0,40		
75ЕМ16Г	140	105		0,51		
75ЕМ20Г	175	130		0,62		
75ЕМ24Г	210	160		0,74		
75ЕМ28Г	245	185		0,85		
100ЕМ4Г—100ЕМ24Г	От 35 до 210	От 26 до 160	1,0	От 0,27 до 1,16	100×100	То же
75ЕД2Г	70	27	1,2	0,13	75×75	Двуплечий выпрямитель
75ЕД4Г	140	54		0,18		
75ЕД6Г	210	81		0,22		
75ЕД8Г	280	105		0,27		
75ЕД10Г	350	135		0,32		
75ЕД12Г	420	160		0,38		
75ЕД16Г	560	215		0,49		
75ЕД20Г	700	270		0,60		
75ЕД24Г	840	325		0,72		
75ЕД28Г	980	380		0,83		
100ЕД2Г—100ЕД24Г	От 70 до 840	От 27 до 325	2	От 0,16 до 1,1	100×100	То же
75ЕС2Г	35	13	2,4	0,13	75×75	Выпрямитель со средней точкой
100ЕС2Г	35	13	4,0	0,16	100×100	
75ЕТ6Г	30	33	3,6	0,25	75×75	Трехфазный мост
75ЕТ12Г	60	66		0,41		
75ЕТ18Г	90	99		0,58		
75ЕТ24Г	120	130		0,75		
100ЕТ6Г—100ЕТ24Г	От 30 до 120	От 33 до 130	6	От 0,39 до 1,2	100×100	То же

* Здесь приведены характеристики выпрямителей открытого типа классов Д и Е, обладающих наибольшим сроком службы (Д — не менее 25 000 *ч*, Е — не менее 20 000 *ч*).

** Здесь приведены выпрямители, состоящие из элементов размером 75×75 *мм* и 100×100 *мм* (на выпрямленные токи от 1,2 *а* и выше). Выпрямители серии Г выпускаются также с элементами ∅ 18 *мм*; ∅ 25; 40×40 *мм* и 60×60 *мм*; на токи; 0,3 *а*—0,6 *а*.

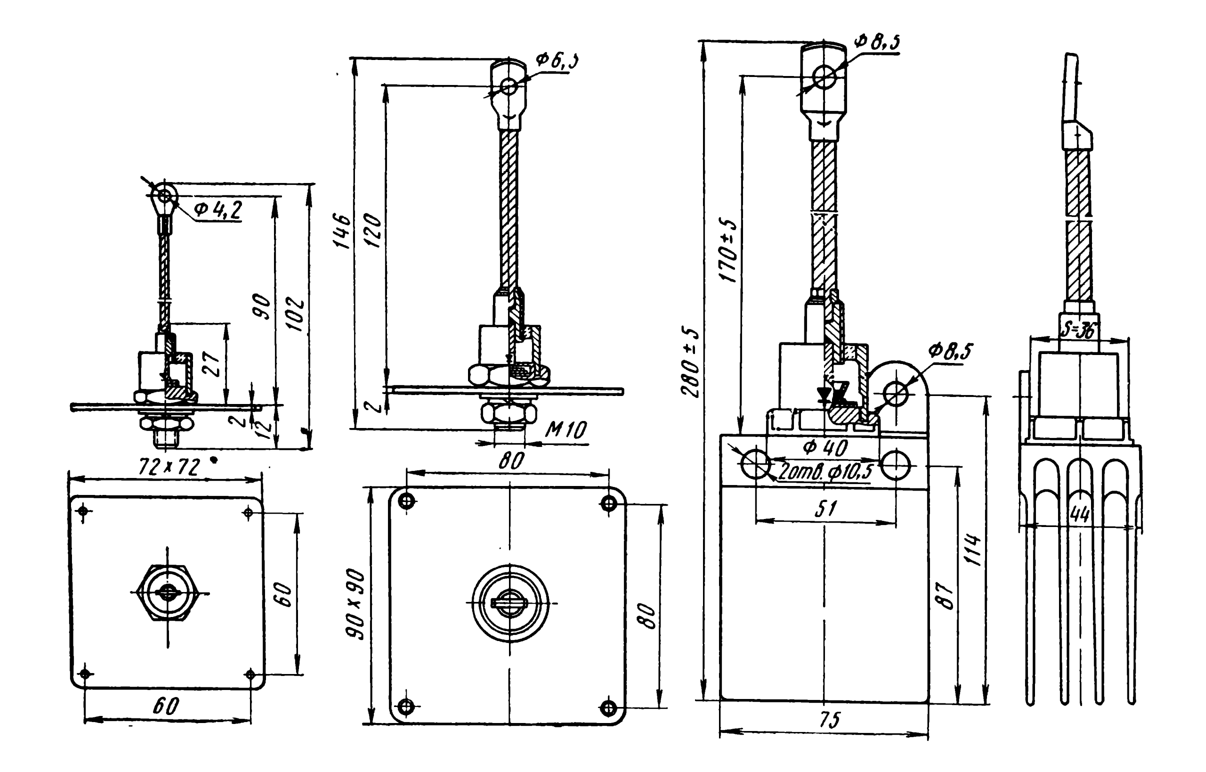


Рис. 96. Плоскостные силовые кремниевые диоды с воздушным охлаждением

паяльника не должна превышать 50—60 *вт*, а продолжительность пайки должна быть не более 2—3 *сек*. Необходимо применять дополнительный теплоотвод между местом пайки и корпусом диода, например зажать припаиваемый провод (у вывода диода) плоскогубцами, которые следует отпустить только после остывания места пайки.

Пригодность диодов для заданных условий работы определяется по их электрическим характеристикам:

1. Вольт-амперная характеристика (см. рис. 92) выражает зависимость тока, протекающего через диод, при изменении величины и полярности приложенного к нему напряжения. В правом верхнем квадранте располагается часть вольт-амперной характеристики, соответствующая пропускному направлению тока. В левом нижнем квадранте располагается вторая часть вольт-амперной характеристики, показывающая изменение тока в запирающем направлении. Чем ближе к вертикальной оси располагается прямая ветвь вольт-амперной характеристики и чем ближе к горизонтальной оси располагается ее обратная ветвь, тем лучше диод.

Вместо полного графического изображения вольт-амперной характеристики часто указываются ее отдельные части.

2. Прямой ток $I_{пр}$ — величина тока, протекающего через диод при приложении к нему постоянного напряжения 1 *в* в пропускном направлении.

3. Наибольшее значение обратного тока $I_{обр. макс}$ — величина тока, протекающего через диод в обратном направлении при приложении к диоду наибольшего обратного напряжения $U_{обр}$.

4. Наибольшее значение обратного напряжения $U_{обр}$ — величина напряжения, которое может быть приложено к диоду в непропускном направлении без вреда для него.

5. Наибольшая амплитуда выпрямленного тока $I_{макс}$ предельно допустимая амплитуда выпрямленного тока через диод, при котором среднеквадратичное значение не превышает наибольшего значения выпрямленного тока.

6. Пробивное напряжение диода $U_{проб}$ — величина напряжения, при котором наступает пробой диода (электрическое разрушение).

7. Прямое падение напряжения $U_{пр}$ — величина падения напряжения на диоде при прохождении через него тока в прямом (пропускном) направлении.

8. Максимально допустимая рассеиваемая мощность $P_{макс}$ — величина допустимой рассеиваемой мощности, при которой обеспечивается заданная надежность при длительной работе диода.

9. Проходная емкость $C_{пр}$ — величина статической емкости между зажимами диода.

Кроме выпрямительных, выпускаются диоды универсальные, модуляторные, импульсные и др.

В табл. 94 и 95 приведены основные характеристики выпрямительных плоскостных диодов.

§ 52. Электроугольные изделия (щетки для электрических машин)

Электроугольными изделиями являются щетки для электрических машин, электроды для дуговых печей, контактные детали и другие изделия. Электроугольные изделия изготовляют методом прессования

Таблица 94

Основные характеристики силовых кремниевых вентилей (по ГОСТ 10662—69)

Тип вентиля*	Номинальное напряжение**, в	Номинальный ток, а	Прямое падение напряжения (не более)***	Не повторяющееся напряжение, в	Повторяющееся напряжение, в	Напряжение лавинообразования****, в	Условия охлаждения вентилей *****	Скорость охлаждения воздуха или расход охлаждающей воды
В-10	100—2500	10	0,6	175—4375	150—3750	—	Воздушное естественное с радиатором	—
ВЛ-10	300—1500	10	0,6	—	—	500—2000	То же	—
В-25	100—2500	25	0,6	175—4375	150—3750	—	Воздушное принудительное с радиатором	3 м/сек
ВЛ-25	300—1500	25	0,6	—	—	500—2000	То же	3 м/сек
В-50	100—2500	50	0,6	175—4375	150—3750	—	»	6 м/сек
ВЛ-50	300—1500	50	0,6	—	—	500—2000	»	6 м/сек
В-100	100—2500	100	0,7	175—4375	150—3750	—	»	12 м/сек
ВЛ-100	100—1500	100	0,7	—	—	500—2000	»	12 м/сек
В-200	100—2500	200	0,7	175—4375	175—4375	—	»	12 м/сек
ВЛ-200	300—1500	200	0,7	—	—	500—2000	»	12 м/сек
В-320	100—2500	320	0,75	175—4375	150—3750	—	»	12 м/сек

Таблица 94 (продолжение)

Тип вентиля*	Номинальное напряжение,** *в*	Номинальный ток, *а*	Прямое падение напряжения (не более) ***	Не повторяющееся напряжение, *в*	Повторяющееся напряжение, *в*	Напряжение лавинообразования,**** *в*	Условия охлаждения вентилей *****	Скорость охлаждения воздуха или расход охлаждающей воды
ВВ-320	100—2500	320	0,75	175—4375	150—3750	—	Водяное	3 *л/мин*
ВЛ-320	300—1500	320	0,75	—	—	500—2000	Воздушное принудительное с радиатором	12 *м/сек*
ВЛВ-320	300—1500	320	0,75	—	—	500—2000	Водяное	3 *л/мин*
ВВ-500	100—2500	500	0,8	175—4375	150—3750	—	То же	4 *л/мин*
ВЛВ-500	300—1500	500	0,8	—	—	500—2000	»	4 *л/мин*
ВЛВ-800	300—1500	800	1,0	—	—	500—2000	»	4 *л/мин*
ВЛВ-1000	300—1500	1000	0,9	—	—	500—2000	»	4 *л/мин*

* В обозначениях типов вентилей буквы обозначают: В — вентиль; Л — с обратной лавинной характеристикой; вторая буква В — водяное охлаждение; цифры, стоящие после букв, определяют величину номинального тока вентиля (в амперах).

** Вентили с нелавинной характеристикой (В-10; В-25; В-50 и др.) выпускаются на номинальные напряжения от 100 до 2500 *в*. Номинальные напряжения каждого из вентилей данного типа отличаются друг от друга на 100 *в*. Вентили с лавинной характеристикой (ВЛ-10; ВЛ-25; ВЛ-50 и др.) выпускаются на номинальные напряжения от 300 до 1500 *в*, отличающиеся друг от друга на 100 *в*.

*** Прямое падение напряжения есть среднее (за период) значение напряжения на вентиле при прохождении через него номинального тока при температуре окружающей среды 25° С.

**** Приведенные значения есть верхние пределы напряжения лавинообразования при температуре электронно-дырочного перехода 25° С.

***** Значения номинальных токов соответствуют температуре охлаждающего воздуха 40° С, а для вентилей с водяным охлаждением соответствуют температуре охлаждающей воды 30° С. При температуре охлаждающего воздуха выше 40° С или при температуре охлаждающей воды выше 30° С величины выпрямленного тока должны быть соответственно снижены.

Таблица 95

Основные характеристики кремниевых диодов

Тип диода	Номер рисунка	Наибольший выпрямленный ток при 20° С, *а*	Наибольшее обратное напряжение при 20° С, *в*	Наибольшая рабочая частота, *гц*	Прямое падение напряжения при номинальном выпрямленном токе, *в*	Среднее значение обратного тока, *ма*	Рабочий интервал температур, ° С	Общая характеристика
Д202	94	0,4	100	До 20000	1	0,5	—55÷+85	Диоды оформлены в металлическом герметичном корпусе с винтом и гайкой для крепления на теплоотводящем радиаторе. Вес диода (не более) 8,75 *г*. Охлаждение естественное
Д203		0,4	200		1	0,5		
Д204		0,4	300		1	0,5		
Д205		0,4	400		1	0,5		
Д302	94	1	200	50	0,30	0,8	—55÷+70	Диоды оформлены в металлическом сварном корпусе с винтом и гайкой для крепления на теплоотводящем шасси. Вес диода (не более) 25 *г*. Охлаждение естественное
Д302А		1	200	50	0,30	1,2	—55÷+50	
Д303		3	150	50	0,35	1,0	—55÷+70	
Д303А		3	150	50	0,35	1,2	—55÷+50	
Д304		5	100	50	0,30	2,0	—55÷+70	
Д305		10	50	50	0,35	2,5	—55÷+70	
Д242	95	10	100	До 1000	1,25	3	—60÷130	Диоды оформлены в металлическом герметичном корпусе со стеклянными изоляторами и винтом для крепления. Вес диода (не более) 18 *г*. Охлаждение естественное
Д242А		10	100		1,0	3		
Д242Б		5	100		1,5	3		

Таблица 95 (продолжение)

Тип диода	Номер рисунка	Наибольший выпрямленный ток при 20° С, *а*	Наибольшее обратное напряжение при 20° С, *в*	Наибольшая рабочая частота, *гц*	Прямое падение напряжения при номинальном выпрямленном токе, *в*	Среднее значение обратного тока, *ма*	Рабочий интервал температур, °С	Общая характеристика
Д243	95	10	200	До 1000	1,25	3	—60÷130	Диоды оформлены в металлическом герметичном корпусе со стеклянными изоляторами и винтом для крепления. Вес диода (не более) 18 *г*. Охлаждение естественное
Д243А		10	200		1,0	3		
Д243Б		5	200		1,5	3		
Д244	95	10	50	До 1000	1,25	3	—60÷130	
Д244А		10	50		1,0	3		
Д244Б		5	50		1,5	3		
Д245	95	10	300		1,25	3		
Д245А		10	300		1,0	3		
Д245Б		5	300		1,5	3		
Д246	95	10	400		1,25	3		
Д246А		10	400		1,0	3		
Д246Б		5	400		1,5	3		
Д247	95	10	500	До 1000	1,25	3	—60÷130	
Д247А		5	500		1,5	3		
Д247Б		5	600		1,5	3		

из исходных порошкообразных масс с последующей высокотемпературной обработкой — обжигом изделий.

Исходные порошкообразные массы составляют из смеси углеродистых материалов (графит, сажа, кокс, антрацит и др.), связующих и пластифицирующих веществ (каменноугольные и синтетические смолы, пеки и др.). В некоторые порошкообразные массы связующие не вводятся.

Рассмотрим одну из групп электроугольных изделий — щетки (рис. 97) для электрических машин.

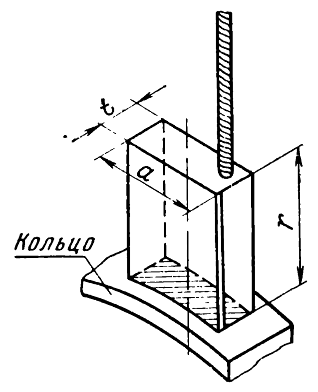


Рис. 97. Щетка на контактном кольце электрической машины

Графитные щетки изготовляют из натурального графита без связующих (мягкие сорта) и с применением связующего (твердые сорта). Графитные щетки отличаются мягкостью и при работе вызывают незначительный шум.

Угольно-графитные щетки изготовляют из графита с введением других углеродистых материалов (кокс, сажа) и связующих веществ. Полученные после термической обработки щетки покрывают тонким слоем меди (в электролитической ванне). Угольно-графитные щетки обладают повышенной механической прочностью, твердостью и малым износом при работе.

Электрографитированные щетки изготовляют из графита и других углеродистых материалов (кокс, сажа), с введением связующих веществ. После первой термической обработки щетки подвергают графитизации — отжигу при 2500—2800° С. Электрографитированные щетки обладают повышенной механической прочностью, стойкостью к толчкообразному изменению нагрузки (тяговые электродвигатели) и применяются при больших окружных скоростях (45—60 *м/сек*).

Металло-графитные щетки изготовляют из смеси порошков графита и меди. В некоторые из них вводят порошки свинца, олова или серебра. Эти щетки отличаются малыми значениями удельного сопротивления, допускают большие плотности тока и имеют малые переходные падения напряжения.

В табл. 96 и 97 приводятся основные характеристики, рекомендации по выбору и стандартные размеры щеток для электрических машин общего применения.

Таблица 96

Основные характеристики щеток и область их применения

Материал щеток	Марка	Рекомендуемые условия работы: номинальная плотность тока, *а*	Рекомендуемые условия работы: наибольшая допустимая окружная скорость, *м/сек*	Рекомендуемые условия работы: удельное нажатие, *г/см²*	Переходное падение напряжения на пару щеток при $I_{ном}$, *в*	Краткая характеристика	Область применения
Угольно-графитные	Т2	6	10	200—250	2,0	Повышенная твердость. Изготовляется из графита с примесью сажи и кокса	Машины постоянного тока напряжением до 220 *в* с затрудненной коммутацией, но с малой окружной скоростью. Двигатели малой мощности
	Г21	5	24	180—550	4,0	Средняя твердость. Изготовляется на сажевой основе	Машины общепромышленного назначения с нормальной коммутацией и напряжением до 500 *в*
Графитные	Г3	11	25	200—250	1,9	Средняя твердость. Изготовляется из графита с добавлением сажи	Машины постоянного тока напряжением до 220 *в*, генераторы с большой силой тока, асинхронные двигатели и одноякорные преобразователи
	Г20	15	35	200—400	4,5	С высоким удельным сопротивлением. Изготовляется из графита с применением бакелитового связующего	Электрические машины малой мощности с затрудненными условиями коммутации. Рекомендуется применять в случае неудовлетворительной работы щеток стандартных марок
	ВТ3	20	30	500—650	3,0	Графитовая средней твердости, теплостойкая	Машины специального применения

Электрографитированные	ЭГ2А	10	45	200—400	2,6	Средняя твердость. Изготовляется из кокса, графита и сажи	Мощные тяговые двигатели напряжением до 500 *в*. Генераторы и двигатели с резко выраженной неравномерной нагрузкой. Реверсивные двигатели общепромышленного назначения
	ЭГ4	12	40	150—200	2,0	Универсальная мягкая щетка из высококачественного натурального графита	Машины постоянного тока до 750 *в* с большой токовой нагрузкой. Электрооборудование прокатных установок, приводы компрессоров, вентиляторов. Машины общепромышленного назначения, турбогенераторы и одноякорные преобразователи Дизель-электрические агрегаты передвижных электростанций
	ЭГ8	10	40	200—400	2,4	Универсальная твердая щетка с хорошими коммутирующими свойствами. Изготовляется на сажевой основе	Малогабаритные машины с большим числом оборотов; хорошо работает также на машинах большой мощности напряжением до 500 *в* с затрудненными условиями коммутации. Коллекторные двигатели переменного тока. Двигатели для различных электробытовых приборов
	ЭГ14	11	40	200—400	2,5	Универсальная твердая коксосажевая щетка с хорошими коммутационными свойствами	Быстроходные машины постоянного тока напряжением до 750 *в* с резко выраженной неравномерностью нагрузок (электрооборудование прокатных станов) Двигатели вентиляторов, машины универсального назначения, тяговые и крановые двига-

Таблица 96 (продолжение)

Материал щеток	Марка	Рекомендуемые условия работы: номинальная плотность тока, *а*	Рекомендуемые условия работы: наибольшая допустимая окружная скорость, *м/сек*	Рекомендуемые условия работы: удельное нажатие, *г/см²*	Переходное падение напряжения на пару щеток при $I_{ном}$, *в*	Краткая характеристика	Область применения
							тели. Стационарные генераторы постоянного тока средней и большой мощности
Электрографитированные	ЭГ17	2	15	200—300	2,6	Средней твердости коксографитосажевая	Электродвигатели переменного и постоянного тока напряжением 110, 127 и 220 *в*
	ЭГ51	12	60	150—400	2,5	Твердая на сажевой основе	Машины с трудными условиями коммутации электродвигателя: прокатных станов, тяговые, крановые и подъемников
	ЭГ61	13	60	350—500	2,4	Твердая сажевая щетка с пропиткой	Мощные тяговые двигатели напряжением до 500 *в* для подвижного состава железных дорог, трамваев, троллейбусов
	ЭГ63	15	40	300—450	2,2	Твердая, очень прочная коксовая щетка с хорошими коммутационными свойствами	Быстроходные двигатели с рабочими температурами коллектора до 300° С (кратковременно). Коллекторные двигатели переменного тока, машины с торцевыми коллекторами
	ЭГ71	12	40	250—350	2,2	Средней твердости, графитосажевая	Машины постоянного тока напряжением до 500 *в* с тяжелыми условиями коммутации

	ЭГ73	12	60	170—270	2,4	Твердая коксосажевая с пропиткой	Применяется на генераторах большой мощности с затрудненной коммутацией, имеющих кремнийорганическую изоляцию
	ЭГ74	12	50	175—400	2,7	Универсальная твердая с очень хорошими коммутационными свойствами. Изготовляется на сажевой основе с пропиткой	Машины с наиболее тяжелыми условиями коммутации. Двигатели прокатных станов, тяговые двигатели и машины с повышенными температурами нагрева коллекторов и с изменяющимися нагрузками
	ЭГ74К	12	60	170—270	2,6	Твердая с очень хорошими коммутирующими свойствами. Изготовляется на сажевой основе с пропиткой	Быстроходные машины большой мощности с кремнийорганической изоляцией и резкими толчкообразными изменениями нагрузки
	ЭГ74АФ	10	27	150—250	2,5	Твердая, на сажевой основе с пропиткой	Синхронные компенсаторы с водородным охлаждением
	А5	20	20	400—600	2,7	То же	Машины специального применения
	ВТ1	30	25	500—850	1,4	Меднографитовая средней твердости, теплостойкая	То же
	611М	12	40	200—250	2,0	Средняя твердость. Изготовляется на основе графита с небольшим содержанием меди	Двигатели и генераторы напряжением до 780 *в* различного назначения. Низковольтные машины. Рекомендуется применять взамен щеток марок: Г3, М3 и М20
Металлографитные	М1	15	25	150—200	1,5	Графитомедная щетка с содержанием меди около 50%	Синхронные генераторы, одноякорные преобразователи и асинхронные двигатели. Зарядные генераторы напряжением менее

Таблица 96 (продолжение)

Материал щеток	Марка	Рекомендуемые условия работы: номинальная плотность тока, a	Рекомендуемые условия работы: наибольшая допустимая окружная скорость, $м/сек$	Рекомендуемые условия работы: удельное нажатие, $г/см^2$	Переходное падение напряжения на пару щеток при $I_{ном}$, $в$	Краткая характеристика	Область применения
							60 *в* и стартеры небольшой мощности напряжением 20—60 *в*
Металлографитные	М3	12	20	150—200	1,8	Графитовая с содержанием меди около 25%	Синхронные машины, маломощные тяговые двигатели, электрокары напряжением до 80 *в*
	М6	15	26	150—200	1,5	Меднографитовая щетка с содержанием меди 40%	Зарядные генераторы и низковольтные машины напряжением до 40 *в*. Двигатели и генераторы малой мощности напряжением 25—80 *в*
	М20	12	20	150—200	1,4	Графитовая с содержанием меди около 30%. Изготовляется с применением более высококачественного графита	Контактные кольца синхронных машин, маломощные тяговые двигатели, зарядные генераторы напряжением до 80 *в*
	МГ	20	20	180—230	0,2	Меднографитовая щетка с содержанием меди около 80% и графита 20%	Контактные кольца асинхронных двигателей, низковольтные машины с высокой плотностью тока и малой окружной скоростью. Рекомендуется заменять щетками МГСО и МГ64
	МГ2	20	20	180—230	0,5	Меднографитовая щетка с добавкой олова	Асинхронные двигатели и одноякорные преобразователи, за-

						рядные агрегаты напряжением 8—12 *в*. Хорошо работают при повышенных плотностях тока и окружных скоростях до 20—25 *м/сек*
МГ4	15	20	200—250	1,1	Меднографитовая с содержанием меди около 70%	Контактные кольца одноякорных преобразователей, асинхронных и синхронных генераторов
МГ64	20	25	150—200	0,5	Меднографитовая с добавкой свинца	Низковольтные машины с высокой плотностью тока. Контактные кольца асинхронных двигателей
96	15	20	200—300	1,1	Меднографитовая с содержанием меди около 60%	Машины специального применения
МГС5	50	15	300—500	1,3	Меднографитовая с содержанием меди около 50% с добавками свинца и олова	Авиационные стартеры
МГС7	27	55	400—600	1,9	То же	Авиационные генераторы и преобразователи, работающие на больших высотах, авиационные машины различного назначения
МГС7и	28	55	400—600	1,9	То же, но прессование каждой щетки производится индивидуально в соответствии с требуемым размером	То же, что и МГС7. Широко применяются также в микродвигателях
МГС7тр	25	55	400—600	2,2	Меднографитовая с содержанием меди около 50%	Машины специального применения

Таблица 96 (продолжение)

Материал щеток	Марка	Рекомендуемые условия работы: номинальная плотность тока, *а*	Рекомендуемые условия работы: наибольшая допустимая окружная скорость, *м/сек*	Рекомендуемые условия работы: удельное нажатие, *г/см²*	Переходное падение напряжения на пару щеток при $I_{ном}$, *в*	Краткая характеристика	Область применения
Металлографитные	МГС8	28	55	400—600	2,4	Меднографитовая с добавками свинца и олова. Изготовляется методом горячего прессования	Авиационные генераторы и преобразователи, работающие на высоте до 18 000 *м*
	МГС9	24	30	400—600	2,4	Меднографитовая с добавками олова и свинца	Умформеры и микродвигатели
	20	30	12	400—600	1,2	То же	Микродвигатели постоянного тока с напряжением от 5 до 16 *в* при скоростях вращения коллектора 1500—1300 *об/мин*
	МГСО	20	20	150—200	0,17	Универсальная меднографитовая щетка с содержанием около 80% меди с добавкой свинца и олова	Низковольтные машины всех типов с большой плотностью тока
	ПУ	20	11	400—600	2,2	Меднографитовая с содержанием меди около 10%	Машины специального применения
	А8	15	15	200—350	1,6	Меднографитовая с пропиткой	Машины специального применения
	А12	24	15	400—550	1,4	То же	То же

Таблица 97

Стандартные размеры щеток для электрических машин (по рис 97)

Ширина (*t*), *мм*	Длина (*a*), *мм*	Высота (*r*), *мм*	Ширина (*t*), *мм*	Длина (*a*), *мм*	Высота (*r*), *мм*	Ширина (*t*), *мм*	Длина (*a*), *мм*	Высота (*r*), *мм*
1,0	1,6	6,3	4,0	5,0	10	6,3	10	20
1,6	2,0	8,0	4,0	5,0	12,5	6,3	10	25
1,6	2,5	6,3	4,0	5,0	16	6,3	10	32
1,6	2,5	8,0	4,0	6,3	12,5	6,3	12,5	16
2,0	2,5	6,3	4,0	6,3	16	6,3	12,5	20
2,0	3,2	6,3	4,0	8,0	16	6,3	12,5	25
2,0	2,5	8,0	4,0	8,0	20	6,3	12,5	32
2,0	3,2	8,0	4,0	10	16	6,3	16	16
2,0	4,0	8,0	4,0	10	20	6,3	16	25
2,0	4,0	10	5,0	6,3	12,5	6,3	16	32
2,5	3,2	6,3	5,0	6,3	16	6,3	20	25
2,5	3,2	8,0	5,0	6,3	20	6,3	20	32
2,5	3,2	10	5,0	8,0	16	6,3	25	32
2,5	4,0	8,0	5,0	8,0	20	6,3	25	40
2,5	4,0	10	5,0	8,0	25	6,3	32	32
2,5	4,0	12,5	5,0	10	16	6,3	32	40
2,5	4,0	16	5,0	10	20	8,0	10	12,5
2,5	5,0	10	5,0	10	25	8,0	10	20,0
2,5	5,0	12,5	5,0	12,5	12,5	8,0	10	25,0
2,5	6,3	12,5	5,0	12,5	20	8,0	10	32
2,5	6,3	16	5,0	12,5	25	8,0	12,5	16
3,2	4,0	6,3	5,0	12,5	32	8,0	12,5	20
3,2	4,0	8,0	5,0	16	20	8,0	12,5	25
3,2	4,0	10	5,0	16	25	8,0	12,5	32
3,2	4,0	12,5	5,0	16	32	8,0	16	20
3,2	4,0	16	5,0	20	25	8,0	16	25
3,2	5,0	10	5,0	20	32	8,0	16	32
3,2	5,0	12,5	5,0	20	40	8,0	20	20
3,2	5,0	16	5,0	25	32	8,0	20	25
3,2	6,3	8	5,0	25	40	8,0	20	28
3,2	6,3	10	6,3	8,0	12,5	8,0	20	32
3,2	6,3	12,5	6,3	8,0	16	8,0	20	40
3,2	6,3	16	6,3	8,0	20	8,0	25	25
3,2	6,3	20	6,3	8,0	25	8,0	25	32
4,0	5,0	8	6,3	10	16	8,0	25	40
8	25	50	12,5	25	40	20	25	32
8	32	32	12,5	25	45	20	25	40
8	32	40	12,5	25	50	20	25	45
8	32	50	12,5	32	32	20	25	50
10	12,5	25	12,5	32	40	20	32	32
10	12,5	32	12,5	32	45	20	32	40
10	16	25	12,5	32	64	20	32	45
10	16	32	12,5	40	40	20	32	50
10	20	20	12,5	40	50	20	32	64
10	20	25	12,5	40	64	20	40	40

Таблица 97 (продолжение)

Ширина (*t*), *мм*	Длина (*a*), *мм*	Высота (*r*), *мм*	Ширина (*t*), *мм*	Длина (*a*), *мм*	Высота (*r*), *мм*	Ширина (*t*), *мм*	Длина (*a*), *мм*	Высота (*r*), *мм*
10	20	28	12,5	50	50	20	40	50
10	20	32	12,5	50	64	20	40	64
10	20	40	16	20	32	20	50	50
10	25	25	16	20	40	20	50	64
10	25	28	16	20	45	25	32	40
10	25	32	16	25	32	25	32	45
10	25	40	16	25	40	25	32	50
10	25	50	16	25	45	25	32	64
10	32	40	16	25	50	25	40	40
10	32	50	16	32	32	25	40	40
10	40	40	16	32	40	25	40	50
10	40	50	16	32	45	25	40	64
10	40	64	16	32	50	25	50	50
12,5	16	25	16	32	64	25	50	64
12,5	16	32	16	40	40	32	40	40
12,5	20	25	16	40	50	32	40	50
12,5	20	32	16	40	64	32	40	64
12,5	20	40	16	50	50	32	50	50
12,5	25	25	16	50	50	32	50	64
12,5	25	32	16	50	64			

ГЛАВА VI

ПРИПОИ, ФЛЮСЫ И КЛЕИ

§ 53. Припои и флюсы

Припои представляют собой металлы или сплавы, применяемые в качестве связующего вещества при пайке металлических частей. Припои делятся на легкоплавкие и тугоплавкие. Легкоплавкие (мягкие) припои имеют температуру плавления меньше 420° С, а тугоплавкие (твердые) припои обладают температурой плавления выше 420° С.

К легкоплавким припоям относятся: свинцово-оловянные сплавы в чистом виде, а также с присадками висмута, сурьмы, кадмия и др., сплавы кадмия с цинком или с оловом и алюминием и др.

К тугоплавким припоям относятся: медно-цинковые сплавы в чистом виде, а также с присадками серебра, фосфора и др., сплавы алюминия с кремнием, цинком и др., медно-серебряные сплавы.

Свинцово-оловянные припои обладают высокой жидкотекучестью и хорошо заполняют тонкие швы. Свинцово-оловянные припои хорошо схватываются с большинством металлов: медью, латунью, сталями, цинком и обеспечивают достаточно высокую прочность паяных швов. Припои с содержанием олова менее 15% применяются для пайния деталей, где не требуется большая механическая прочность. Свинцово-оловянные припои с большим содержанием висмута (50—57%) обладают наиболее низкой температурой плавления (79—95° С), но паяные ими швы хрупки и склонны к образованию трещин.

Медно-цинковые припои (ПМЦ-36; ПМЦ-48 и др.) и медно-фосфорные припои (ПФОЦ-7-3-2 и др.) обладают хрупкостью и не стойки к вибрациям и ударным нагрузкам, но электрическое сопротивление швов очень малое.

Серебряно-медные припои (ПСр-50; ПСр-70; ПСр-71) отличаются малым удельным электрическим сопротивлением и широко применяются для паяния токоведущих частей. Серебряно-медные припои могут применяться для пайки всех черных и цветных металлов, которые хорошо смачиваются этими припоями. При этом образуются механически прочные и коррозионностойкие паяные швы.

Припои на алюминиевой основе с добавками меди, кремния и олова отличаются повышенной механической прочностью и стойкостью к атмосферной коррозии.

Вторым важным компонентом при пайке является флюсующее вещество (флюс). Роль флюса при пайке заключается в очистке поверхности спаиваемых металлов от окислов и других загрязнений, предохранении спаиваемых металлов от окисления в процессе пайки, а также в снижении поверхностного натяжения расплавленного припоя.

Флюсы могут представлять собой твердые порошкообразные вещества (бура, борная кислота, канифоль и др.) или жидкости (водный раствор хлористого цинка, спиртовый раствор канифоли и др.). Иногда применяют полужидкие флюсы — пасты.

При пайке меди, латуни и бронз легкоплавкими припоями на свинцово-оловянной основе применяют флюсы, не вызывающие коррозии паяных швов. К таким флюсам относятся: канифоль, раствор канифоли в этиловом спирте и другие составы на основе канифоли. Канифоль является слабоактивным флюсом, поэтому поверхности спаиваемых металлов должны быть тщательно зачищены перед нанесением канифольного флюса.

При пайке тугоплавкими (твердыми) припоями, плавящимися при температуре выше 400—450° С, канифоль и другие легко распадающиеся при высокой температуре флюсы применять нельзя. При высокотемпературной пайке стали, меди и медных сплавов (латуни, бронзы и др.) в качестве флюсов чаще всего используют буру ($Na_2B_4O_7$) или смеси ее с борной кислотой (H_3BO_3) и другими солями. Для пайки алюминия, легко окисляющегося на воздухе, применяют особо активные флюсы, могущие растворять плотную пленку окислов на алюминии. К таким флюсам относится состав из 25—35% хлористого лития, 8—12% фтористого калия; 8—15% хлористого цинка и остальное — хлористый калий. Во всех случаях выбора флюса надо иметь в виду следующее: температура плавления твердого флюса должна быть ниже температуры плавления припоя, а температура пайки — ниже температуры термического разложения флюса. Во избежание коррозии паяных швов твердыми припоями остатки флюса должны быть удалены промывкой швов горячей водой с помощью волосяной щетки.

Состав и основные свойства припоев и флюсов приведены в табл. 98—101.

Таблица 98

Состав и основные свойства мягких припоев

Марка припоя	Состав, %	Температура плавления, °С	Предел прочности при растяжении, кГ/мм²	Область применения
ПОС-18	Олово — 18 Сурьма — 2,5 Медь — 0,15 Свинец—остальное	277	2,8	Пайка изделий из меди, латуни, луженого и оцинкованного железа
ПОС-30	Олово — 30 Сурьма — 2,0 Медь — 0,15 Свинец—остальное	256	3,3	То же и из бронзы
ПОС-40	Олово — 40 Сурьма — 2 Медь — 0,1 Свинец—остальное	235	3,2	Пайка изделий из меди, латуни, серебра, бронзы, луженого и оцинкованного железа и монтажных соединений

Таблица 98 (продолжение)

Марка припоя	Состав, %	Температура плавления, °С	Предел прочности при растяжении, $кГ/мм^2$	Область применения
ПОС-50	Олово—50 Сурьма—0,8 Медь—0,1 Свинец—остальное	223	3,6	Пайка изделий из меди, латуни, серебра, бронзы, луженого и оцинкованного железа и монтажных соединений
ПОС-61	Олово—61 Сурьма—0,8 Медь—0,1 Свинец—остальное	190	4,7	То же, особенно для пайки тонких проводов и пружин
ПОС-90	Олово—90 Сурьма—0,15 Медь—0,08 Свинец—остальное	222	4,3	То же
ПСрК-25	Олово—30 Кадмий—5 Свинец—63 Серебро—2	225	—	Пайка деталей для электровакуумных приборов
ПОССр-15	Олово—15 Цинк—0,6 Серебро—1,25 Свинец—остальное	276	—	Пайка деталей из меди, латуни и бронзы
ПСр—2,5	Серебро—2,5 Олово—5,5 Свинец—остальное	305	3,6	То же
ПСр-2	Серебро—2 Олово—30 Кадмий—5 Свинец—остальное	235	3,8	Пайка изделий из меди, латуни, бронзы и стали
ПОСС4-6	Олово—4 Сурьма—6 Свинец—остальное	265	5,8	То же, но пайка только окунанием неответственных (клепаных или замковых) швов и для лужения меди и железа
АВИА-1	Олово—55 Кадмий—20 Цинк—25	200	7,0	Пайка изделий из алюминиевых сплавов и алюминия
АВИА-2	Олово—40 Кадмий—20 Цинк—25 Алюминий—15	250	7,2	То же

Марка припоя	Состав, %	Температура плавления, °С	Предел прочности при растяжении, $кГ/мм^2$	Область применения
П300А	Кадмий—40 Цинк—60	300	8,5	То же и в монтажных соединениях
ПОСК-47	Олово—47 Кадмий—17 Свинец—36	180	—	Пайка металлических и керамических посеребренных деталей
ПОСК-50	Олово—50 Кадмий—18 Свинец—32	145	—	Пайка изделий из меди и медных сплавов
ПОК-56	Олово—56 Кадмий—44	124	—	То же
ПОСВ-33	Олово—33,4 Висмут—33,3 Свинец—33,3	130	6,0	То же и константана
П150А	Олово—39 Кадмий—57 Цинк—остальное	165	6,5	Пайка деталей из меди и ее сплавов, но с применением ультразвуковых паяльников
П170А	Олово—80 Серебро—1,0 Кадмий—остальное	175	6,3	Пайка деталей из алюминия и его сплавов, а также пайка алюминия с медью
Сплав Розе	Олово—25 Висмут—50 Свинец—25	92	7,0	Пайка и лужение мест спаев малогабаритных приборов
Сплав Вуда	Олово—12 Висмут—51 Кадмий—12 Свинец—остальное	70	6,1	Пайка и лужение мест чувствительных к перегреву

Таблица 99

Состав и основные свойства твердых припоев

Марка припоя	Состав, %	Температура плавления, °С	Предел прочности при растяжении, $кГ/мм^2$	Область применения
ПМЦ-36	Медь—36 Цинк—64	825	20	Пайка деталей из меди, латуни и бронзы. Образует хрупкий шов
ПМЦ-48	Медь—48 Цинк—46	865	22	То же, но шов меньшей хрупкости
ПМЦ-54	Медь—54 Цинк—46	880	35	Пайка деталей из меди, бронзы и стали
Л62	Медь—62 Цинк—38	905	30	То же
ПФОЦ-7-3-3	Медь—87 Фосфор—7 Олово—3 Цинк—3	700	20	Пайка деталей из меди, латуни и бронзы (электротехнического назначения)
ПСр-25	Медь—40 Серебро—25 Цинк—35	775	28	То же и изделия из стали и вольфрама. Температура пайки 830° С
ПСр-45	Медь—30 Серебро—45 Цинк—25	720	39	То же
ПСр-50	Медь—50 Серебро—50	850	32	Пайка токоведущих частей из меди, латуни, бронзы, вольфрама
ПСр-70	Цинк—4 Медь—26 Серебро—70	775	35	То же
ПСр-71	Медь—28 Серебро—71 Фосфор—1	795	—	»
ПСр-72	Медь—28 Серебро—72	779	—	»
ВПТ-3	Медь—25 Кремний—7,0 Алюминий—68	530	—	Пайка изделий из алюминия и его сплавов
ВПТ-4	Алюминий—55 Кремний—5 Цинк—40	410	—	То же

Таблица 99 (продолжение)

Марка припоя	Состав, %	Температура плавления, °С	Предел прочности при растяжении, кГ/мм²	Область применения
34-А	Алюминий—66 Медь—28 Кремний—6	525	18	То же; места пайки обладают повышенной механической прочностью
35-А	Алюминий—72 Медь—21 Кремний—7	540	—	То же
А *	Медь—1,5 Олово—40 Цинк—58,5	425	8,0	Пайка и лужение алюминиевых проводов
Б *	Алюминий—12 Медь—8 Цинк—80	410	18,5	То же
Кадмиевый *	Кадмий—24 Олово—36 Цинк—40	300	8,5	Пайка алюминиевых проводов малого диаметра

* Флюсы при пайке припоями А, Б и кадмиевым не применяются. Места пайки только предварительно тщательно зачищаются стальной щеткой.

Таблица 100

Флюсы для пайки мягкими припоями

Марка или название флюса	Состав, %	Область применения
Канифоль светлая	Эфиры смоляных кислот	Для пайки проводниковых изделий из меди, латуни и бронзы
КЭ	Канифоль—20—25 Спирт этиловый—80—75	То же
ГК	Канифоль—6 Глицерин—14 Спирт этиловый или денатурат—80	То же и из нейзильбера
ВТС	Вазелин—63 Триэтаноламин—6,5 Кислота салициловая—6,3 Спирт этиловый—21,2	Для пайки проводниковых изделий из меди, латуни, бронзы, константана, манганина, серебра, платины и ее сплавов. Обеспечивает чистоту пайки

Таблица 100 (продолжение)

Марка или название флюса	Состав, %	Область применения
ФИМ	Кислота ортофосфорная — 1,6 Спирт этиловый—3,7 Вода дистиллированная — 94,7	Для пайки изделий из черных металлов, меди, латуни и бронзы. Необходима промывка спаев водой
ФА	Анилин солянокислый — 1,8 Глицерин—1,5 Канифоль—96,7	То же, но промывка в воде не требуется
КЭЦ	Канифоль—24 Цинк хлористый—1 Спирт этиловый—75	То же и изделий из золота. Остатки флюса должны удаляться при помощи растворителей
ФП	Канифоль—16 Цинк хлористый—4 Вазелин—80	Для пайки изделий из черных и цветных металлов. Обеспечивает повышенную прочность шва, но требуется промывка водой
Водный раствор хлористого цинка	Концентрация раствора от 30 до 50%	Для пайки изделий из меди, латуни и бронзы с последующей промывкой паяного шва водой
ФВ-3	Натрий фтористый—8 Цинк хлористый—16 Литий хлористый—36 Калий хлористый—40	Для пайки изделий из алюминия и его сплавов
АФ-44	Калий хлористый—50 Натрий хлористый—28 Литий хлористый—14 Натрий фтористый—8	Для электроконтактной пайки проводниковых изделий из алюминия и его сплавов (припоями АВИА-1 и АВИА-2). Остатки флюса должны удаляться
ФТКА	Фтороборат кадмия—10 Фтороборат аммония — 8 Триэтаноламин—82	Для пайки алюминиевых проводов с медными

Таблица 101

Флюсы для пайки твердыми припоями

Состав, %	Область применения
Бура прокаленная *	Для пайки изделий из меди, медных сплавов, платины, никеля и углеродистых сталей (медными и медноцинковыми припоями) Остатки флюса должны удаляться
Бура плавленая — 21 Борный ангидрид — 65 Кальций фтористый — 14	Для пайки изделий из меди, латуни, бронзы, нержавеющей и углеродистой стали (медными припоями)
Борный ангидрид — 35 Калий фтористый — 42 Фтороборат калия — 23	То же, но при пайке серебряными припоями
Бура — 50 Борная кислота — 35 Калий фтористый — 15	То же, особенно ПСр-45. Применяется в виде пасты на воде или спирте
Бура — 58 Борная кислота — 40 Кальций хлористый — 2	Для пайки изделий из меди и латуни (серебряными и медноцинковыми припоями)
Натрий фтористый — 10 Цинк хлористый — 8 Литий хлористый — 32 Калий хлористый — 50	Для пайки изделий из алюминия (алюминиевыми припоями). Остатки флюса должны удаляться
Бура плавленая — 50 Борная кислота — 50	Для пайки меди, латуни, бронзы и нержавеющих и жаропрочных сталей (медными и медноцинковыми припоями)
Бура — 95 Калий марганцево-кислый — 5 (смесь замешивают на концентрированном растворе хлористого цинка)	Для пайки изделий из чугуна (медными припоями) *

* Порошок буры гигроскопичен, поэтому его надо хранить в банке с притертой крышкой.

§ 54. Состав и свойства клеев

Таблица 102

Основные свойства клеев горячего отвердевания *

Марка клея	Примерный состав клея	Назначение клея	Основы процесса склеивания
БФ-2 БФ-4	Спиртовые растворы синтетических бутварно-фенольных смол	Склеивание металлов, пластмасс, керамики, стекол в различных сочетаниях. Клеевые швы могут работать при температурах от —60°С до 70°С. Швы — водостойки, маслостойки и стойки к грибковой плесени. Срок хранения клеев 6 мес.	На пригнанные и тщательно очищенные поверхности наносится кистью тонкий слой клея, который подсушивается при комнатной температуре в течение 1 *ч*. Клей наносится в 2—3 слоя, каждый слой подсушивается в течение 1 *ч*. После выдержки последнего слоя склеиваемые поверхности совмещают и выдерживают при удельном давлении 5—15 $кГ/см^2$ в течение 72 *ч* (при 25—40°С) или в течение 1 *ч* (при 150°С)
ВС-10Т	Спиртовый раствор фенолоформальдегидной смолы и смеси с поливинилацеталем и алкоксиланом	Объекты склеивания те же, что и клеев БФ, но клеевые швы могут работать при температурах от —60°С до 150°С. Швы — водостойки, маслостойки и стойки к грибковой плесени. Срок хранения клея 6 мес.	На пригнанные и тщательно очищенные поверхности наносится кистью клей в два слоя. Каждый слой клея подсушивается в течение часа при комнатной температуре. После выдерживания второго слоя склеиваемые поверхности совмещают и выдерживают при удельном давлении 1—5 $кГ/см^2$ 1,5—2 *ч* (при 175°С). Охлаждение до комнатной температуры производится без снятия давления на склеиваемые поверхности
ВК-32-200	Раствор каучука СКН-40 в спиртовом бакелитовом лаке ИФ. Клей поставляется в	Склеивание металлов между собой и с неметаллическими материалами (стекло,	На пригнанные и тщательно очищенные (с помощью растворителей) поверхности последовательно наносятся два тонких слоя.

Таблица 102 (продолжение)

Марка клея	Примерный состав клея	Назначение клея	Основы процесса склеивания
	виде отдельных компонентов (лак ИФ и продукт № 3), которые перед употреблением смешиваются в соотношении, лак $ИФ = 30 \frac{60}{C_1}$ продукт № $3 = 70 \frac{17}{C_2}$ где C_1 — концентрация лака C_2 — концентрация продукта № 3	пластмассы и др.) Клеевые швы могут работать при температурах от —60°С до 200°С. Швы—водостойки, маслостойки, вибростойки и тропикостойки Срок хранения компонентов клея 3 мес Жизнеспособность приготовленного клея 24 *ч*	Первый слой выдерживается на воздухе при 20°С (30 *мин*), второй слой при 60°С (90*мин*). После выдерживания второго слоя склеиваемые поверхности совмещают и выдерживают при удельном давлении 10—20 $кГ/см^2$ в течение 1—2 *ч* (при 175°С)
Д-2 (эпоксидный)	Композиция на основе диановой смолы ЭД-6, малеинового ангидрида и пылевидного кварца в соотношении: смола ЭД-6 . . . . . . 100 вес. ч малеиновый ангидрид . . 2,28К' диметиланилин . . . . . 0,5 вес. ч пылевидный кварц . . . 200 вес ч	Объекты склеивания те же, но может образовывать герметичные соединения Клеевые швы могут работать при температурах от —60°С до 100°С. Стойкость клеевых швов та же, что и клея ВК 32-200. Жизнеспособность приготовленного клея 3 суток	На пригнанные и тщательно очищенные поверхности наносят один слой клея. Склеиваемые поверхности совмещают и выдерживают при удельном давлении 0,5—1 $кГ/см^2$ в течение 10 *ч* (при 120°С)
Д-23 (эпоксидный)	Композиция на основе диановой смолы ЭДЛ, дициандиамида и пылевидного	Склеивание металлов, керамики, пластмасс друг с другом и в других сочетани-	На пригнанные и тщательно очищенные поверхности равномерно наносят один слой клея Склеиваемые поверхности совмещают

	кварца в соотношении: *** смола ЭДЛ . . . . . . 10 вес. ч дициандиамид 0,49 К[3] пылевидный кварц 1,5 Л	ях. Клеевые швы, обладающие хорошими электроизоляционными свойствами, могут работать при температурах от —60°С до 130°С. Швы водостойки, маслостойки, тропикостойки, стойкие к кислотам и щелочам Срок хранения приготовленного клея 1—2 суток	и выдерживают при удельном давлении 0,3—0,5 *кГ/см²* в течение 3 *ч* (при 180°С)
Д-93 (эпоксидный)	Композиция на основе диановой смолы ЭД-6, триэтаноламина, дибутилфталата и алюминиевой пудры в соотношении: *** смола ЭД-6 . . . . . . 100 вес. ч триэтаноламин . . . . . 10 вес. ч дибутилфталат . . . . . 10 вес. ч пудра алюмин. 0,4 Л ****	Объекты склеивания те же, что и для клеев Д-2 и Д-23. Клеевые швы обладают высокой герметичностью и могут работать при температурах от —60°С до 100°С. Жизнеспособность приготовленного клея 2—3 суток (при хранении в закрытой таре)	На пригнанные и тщательно очищенные поверхности равномерно наносят один слой клея. Склеиваемые поверхности совмещают и выдерживают при удельном давлении 0,5—0,8 *кГ/см²* в течение 10 *ч* (при 120°С) или в течение 7 *ч* (при 140°С)
Клей бакелитовый	Композиция на основе спиртового бакелитового лака и уротропина в соотношении: лак бакелитовый . . . . 100 вес. ч	Склеивание пластмасс, картона, слюды, стекол и керамики. Клеевые швы могут работать при температурах от —40°С до 100°С. Швы устойчивы к влаге, минераль-	На пригнанные и очищенные поверхности равномерно наносится один слой клея, который подсушивается при 20°С в течение 3—5 *мин*. После этого склеиваемые поверхности совмещают и выдерживают при удельном давлении 20 *кГ/см²* в течение 1 *ч* (при

Таблица 102 (продолжение)

Марка клея	Примерный состав клея	Назначение клея	Основы процесса склеивания
	гексаметилентетрамин (уротропин) . . . 3 вес. ч	ным маслам и керосину, но не обладают эластичностью и невибростойки	50°C), затем 1 *ч* (при 80°C) и 2 *ч* (при 110°C)

* Поверхности, подлежащие склеиванию, должны быть пригнаны друг к другу и тщательно очищены и обезжирены с помощью растворителя (бензин, толуол, этиловый спирт и др.). Рекомендуемая чистота поверхности ▽ 6, а для металлов ▽ 7.

** К — количество эпоксидных групп в эпоксидной смоле.

*** Все компоненты клея должны быть тщательно смешаны в чистом фарфоровом или стеклянном сосуде. Порошкообразные компоненты должны быть тщательно растерты.

**** Л — вес клея без наполнителя.

Таблица 103

Основные свойства клеев холодного отвердевания *

Марка клея	Примерный состав клея **	Назначение клея	Основы процесса склеивания
ВК-32-2	Композиция на основе бакелитового лака ИФ и резиновой смеси (продукт № 8) в соотношении: лак ИФ . . . $42{,}2\frac{60}{C_2}$ продукт № 8 . . . $57{,}8\frac{17}{C_1}$	Склеивание пластмасс с металлами. Клеевые швы могут работать при температурах от —60°C до 200°C. Швы водостойки и маслостойки. Жизнеспособность приготовленного клея 72 *ч*.	Клей приготовляется смешением лака ИФ и продукта № 8 (в день применения клея). На пригнанные и тщательно очищенные поверхности равномерно наносится один слой клея, который выдерживается при 20°C в течение 10 *мин*. Склеиваемые поверхности совмещают и выдерживают при удельных

	где C_1 концентрация продукта № 8 в % C_2 — концентрация лака в % Срок хранения компонентов клея 6 мес.		давлениях 0,5—0,6 *кГ/см²* в течение 20—24 *ч* (при 25±5°C)
Мастика ЛН	Композиция на основе клея ЛН и двуокиси титана (порошок) в соотношении: клея ЛН (лейконат) . . 1 вес. ч двуокись титана . . . . 1,2 вес. ч	Склеивание пластмасс с металлами, закрепление отдельных проводов и жгутов на платах и стенках эл. аппаратов и приборов. Клеевые швы эластичны, вибростойки и ударопрочны. Жизнеспособность приготовленной мастики (клея) 24 *ч*	Клей приготавливается смешением просушенного порошка двуокиси титана с лаком ЛН в соотношении 1,2 : 1 (смесь перемешивается 10—15 *мин.*) На пригнанные и тщательно очищенные поверхности равномерно наносится один слой мастики и выдерживается при 20°C 20 *мин*. Склеиваемые поверхности совмещают и выдерживают при удельном давлении 1—2 *кГ/см²* в течение 48 *ч* (при 25±5°C)
Д-6 (эпоксидный)	Композиция на основе диановой смолы ЭД-6 гексаметилендиамина и дибутилфталата в соотношении: смола ЭД-6 . . . . . . 100 вес. ч гексаметилендиамин . . 10 вес. ч дибутилфталат . . . . . 10 вес. ч	Склеивание металлов, керамики, стекол и пластмасс. Клеевые швы могут работать при температурах от —60°C до 70°C. Швы водостойки, маслостойки, тропикостойки и отличаются герметичностью. Жизнеспособность приготовленного клея 30—40 *мин*	Клей приготовляется смешением указанных компонентов; на пригнанные и тщательно очищенные поверхности равномерно наносится один слой клея и выдерживается при 20°C 20 *мин*. Склеиваемые поверхности совмещают и выдерживают при удельном давлении 0,8—1 *кГ/см²* в течение 24—36 *ч* (при 25±5°C)
БОВ-1 БОВ-2 БОВ-3	Готовая композиция на основе эпоксидной и фурфорольной смол и ацетона	Склеивание металлов, пластмасс и инертных полимеров (полиэтилен, капрон,	На пригнанные и тщательно очищенные поверхности наносят один слой клея и выдерживают при 20°C 20 *мин*. Склеиваемые

Таблица 103 (продолжение)

Марка клея	Примерный состав клея **	Назначение клея	Основы процесса склеивания
		фторопласт-4 и др.). Клеевые швы могут работать при температурах от —60°C до 200°C. Швы водостойки, маслостойки и обладают хорошими эл. изоляционными свойствами. Жизнеспособность клея—несколько суток	поверхности совмещают и выдерживают при удельном давлении 0,1—0,5 *кГ/см²* 20 *ч* (при 25±5°C)
Карбинольный	Композиция на основе сиропообразного карбинола и перекиси бензоила (порошок) в соотношении: карбинол . . . 100 вес. ч перекись бензоила . . . 1—3 вес. ч	Склеивание металлов (за исключением меди, латуни и бронз), керамики и пластмасс. Клеевые швы могут работать при температурах от —60°C до 60°C. Швы влагостойки, маслостойки и грибостойки, но не стойки к вибрациям и резким сменам температуры. Жизнеспособность приготовленного клея 2 *ч*	Клей приготовляется смешением перекиси бензоила с сиропом карбинола и выдержкой смеси при температуре 60°C до необходимой вязкости. На пригнанные и тщательно очищенные поверхности наносят один слой клея и выдерживают при 20°C 5 *мин* (до отлипа). Склеиваемые поверхности совмещают и выдерживают при удельном давлении 0,5—1 *кГ/см²* 24—30 *ч* (при 25±5°C)

* Подготовка склеиваемых поверхностей, их очистка и обезжиривание (см. примечание к табл. 102).

** Все компоненты клея должны быть тщательно смешаны в чистом фарфоровом или в стеклянном сосуде. Порошкообразные компоненты должны быть тщательно растерты.

ЛИТЕРАТУРА

1 Андрианов К. А. Высокомолекулярные соединения для электрической изоляции. М., Госэнергоиздат, 1961.

2. Андрианов К. А. Теплостойкие кремнийорганические диэлектрики. М., «Энергия», 1964.

3. Андрианов К. А., Скипетров В. В. Синтетические жидкие диэлектрики. М., Госэнергоиздат, 1962.

4 Андрианов К. А., Эпштейн Л. А. Электроизоляционные материалы на основе слюдинита. М., «Энергия», 1963.

5 Аптов И. С. Хомяков М. В. Уход за изоляционным маслом. М., «Энергия», 1966.

6. Богородицкий Н. А., Пасынков В. В. Материалы радиоэлектронной техники. «Энергия», 1969.

7. Богородицкий Н. П. и др. Электротехнические материалы. М., Госэнергоиздат, 1961.

8. Бенинг П. Электрическая прочность изоляционных материалов и конструкций. М., Госэнергоиздат, 1960.

9. Бачелис Д С и др. Электрические кабели, провода и шнуры. М., «Энергия», 1970.

10. Бабиков М. А. и др Техника высоких напряжений. М., Госэнергоиздат, 1960.

11. Белоруссов Н. И., Федосеева Е. Г. Кабели, провода и шнуры с пластмассовой изоляцией. М., Госэнергоиздат, 1960.

12. Варденбург А. К. Пластические массы в электротехнической промышленности. М., Госэнергоиздат, 1963.

13 Готман П. Е., Березин В. Б., Хайкин А. М. Электротехнические материалы. «Энергия», 1969.

14 Геллер И. Х. Селеновые выпрямители. М., «Энергия», 1964.

15. Дроздов Н. Г., Никулин Н. В. Электроматериаловедение М., «Высшая школа», 1968.

16. Дружинин Б В. Магнитные свойства электротехнической стали. М., Госэнергоиздат, 1962

17. Кабыстина П. Ф. Обмоточные провода с волокнистой изоляцией. М., «Энергия», 1968.

18 Корицкий Ю. В. Электротехнические материалы. М., «Энергия», 1969.

19. Никулин Н В., Кортнев В. В. Производство электрокерамических изделий. М., «Высшая школа», 1970.

20. Привезенцев В. А Обмоточные провода с эмалевой и волокнистой изоляцией. ЦИНТИ приборэлектропром, 1962.

21 Привезенцев В. А., Ларина Э. Т. Силовые кабели и высоковольтные кабельные линии. М., «Энергия», 1970.

22. Ренне В Т Электрические конденсаторы М., «Энергия», 1969.

23. Чурвбо Д. Д. Новые неметаллические материалы для радиоаппаратуры. М., «Энергия», 1966.

24 Шольц Н. Н., Пискарев К. А. Ферриты для радиочастот М., «Энергия», 1966

25 Ямавов С. А. Химия и радиоматериалы. М., «Высшая школа», 1970.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.